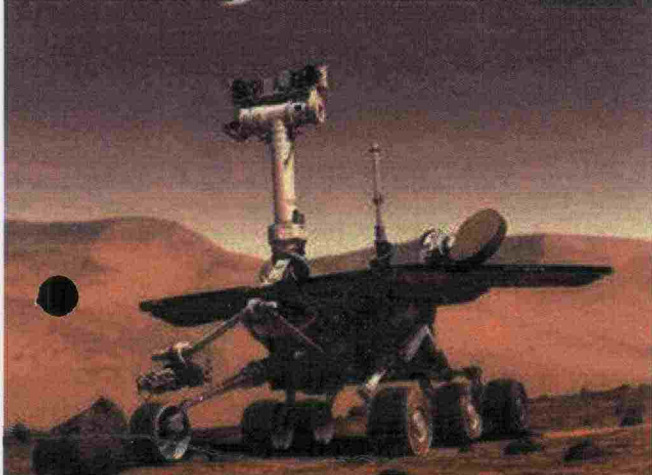




Topi Mäenpää, Matti Niskanen, Heikki Pylkkö, Seppo Ropponen, Olli Silven

Konenäön hyödyntämismahdollisuudet teiden ylläpidossa ja hoidossa



Tiehallinnon selvityksiä 26/2008

Topi Mäenpää, Matti Niskanen, Heikki Pylkkö, Seppo
Ropponen, Olli Silven

**Konenäön
hyödyntämismahdollisuudet
teiden ylläpidossa ja hoidossa**

Tiehallinnon selvityksiä 26/2008

Tiehallinto

Helsinki 2008

Kansikuva: Ramboll Pavue vauriomittausajoneuvo. Nasan Mars-mönkijä.

Verkkojulkaisu pdf (www.tiehallinto.fi/julkaisut)

ISSN 1459-1553

ISBN 978 - 952 - 221 - 109 - 5

TIEH 3201105 -v

TIEHALLINTO

Keskushallinto

Opastinsilta 12A

PL 33

00521 Helsinki

Puhelin 02042211

Konenäön hyödyntämismahdollisuudet teiden ylläpidossa ja hoidossa. Helsinki 2008.
Tiehallinto. Tiehallinnon selvityksiä 26/2008, 84 s. ISSN 1459-1553, ISBN 978-952-221-109-5, TIEH 3201105-v.

Asiasanat: Kuntomittaukset, mittausmenetelmät, automaatio, tietotekniikka, tienpito
Aiheluokka: 33

TIIVISTELMÄ

Konenäkö on koneen kykyä nähdä ja tulkita näkemäänsä - aivan kuten ihmisen näkökyky on ihmisen kykyä nähdä ja tulkita näkemäänsä. Konenäköjärjestelmä sisältää kameran, jolla muodostetaan kuva halutusta kohteesta, sekä tietokoneen tai muun laitteen, jossa suoritettavien algoritmien avulla kuvasta tehdään tarvittavat päätelmät. Lisäksi tarvitaan väylä kuvan siirtämiseksi kamerasta analyysin tekemään laitteeseen.

Konenäöllä on runsaasti sovelluksia erityisesti teollisuudessa. Perinteisiä sovelluksia prosessiteollisuudessa ovat mm. sahatavaran laadun mittaaminen, paperirainan vianilmaisuus, metallinauhan vikojen ilmaisuus ja ominaisuuksien analysointi. Kappaletavaraateollisuuden tyypillisiä sovelluksia ovat robottien ohjaus, koodien ja tekstien luku, dimensioiden, asennon ja pinnan laadun mittaaminen sekä kappaleiden lukumäärän laskeminen. Muiden alojen sovelluksia ovat esimerkiksi urheilupaikkojen käyttäjien laskenta, liikkuvien kohteiden seuranta ja kasvojen yhdennäköisyyden mittaaminen. Monista erityisesti teollisista sovelluksista saatavat hyödyt ja säästöt ovat mittavia.

Myös tienpidossa on ensimmäisiä konenäköratkaisuja käytössä mm. päällysteiden ja tiemerkintöjen kunnon arviointiin liittyen. Tiehallinto otti vuonna 2006 käyttöön uuden automaattisen vaurioiden mittausmenetelmän (APVM) tieverkkotason vaurioiden kartoittamiseen. Automaattisella mittauksella pystyttiin korvaamaan visuaaliseen havainnointiin perustuva vaurioinventointi, minkä seurauksena vauriotiedon tarkkuus, erityisesti mittauksen toistettavuus paranee merkittävästi.

Tiemerkintöjen kuntoa arvioidaan sen paluuehjäystävyyden ja viisiportaisen kuntoluokka- arvion pohjalta. Kuntoluokka-arvio on tähän asti tehty visuaalisena havainnointina, mutta muutaman vuoden ajan on ollut käytössä myös konenäköön perustuva automaattinen mittausmenetelmä.

Muita infra-alalla käytössä olevia konenäkösovelluksia ovat mm. rekisterikilpien tunnistus, nopeusvalvonnat, tieliikennelaskennat, liikennevaloristeyksien ohjaus ja valvonta sekä levähdysalueiden valvonta. Käytössä on myös monia kamerajärjestelmiä, joista uusimpia ovat matkakaseurannan järjestelmä sekä moottoritietunnelien pysähdyksenvälöntajärjestelmät. Ajoneuvoihin kehitetyt monet ajoa helpottavat apuvälineet, kuten liikennemerkkien tunnistus, kaistavahdit ja hirtivaroitimet, perustuvat konenäköön.

Esiselvityksessä kysyttiin Tiehallinnon verkkojen asiantuntijoilta sekä monilta alan toimijoilta ajatuksia konenäön mahdollisista uusista sovelluksista ja tarpeista kehittää jo käytössä olevia sovelluksia. Sovellusideoita tuli runsaasti mm. koskien automaattisen päällystevauriomittauksen jatkokehitystä, palvelutaso- ja vauriomittauksen integrointia samaan ajoneuvoon sekä liikennemerkkien, valaisinpylväiden ja tiemerkintöjen inventointia ja kunnon arviointia. Myös sorateiden kuntomittaus konenäköön perustuen on hyvin potentiaalinen sovellus. Silloissa merkittävin ongelma on

vesieristysten vaurion riittävän varhainen havaitseminen, minkä ongelman ratkaisussa konenäkö voi tarjota muiden menetelmien ohella hyödyllisiä keinoja. Kiinnostavia sovelluksia olivat myös pintojen tarkastus, liikuntasauvojen kunnon arviointi sekä ajoneuvon tunnistus sillalla (rekisterinumero, tyyppi, akselimäärä, sijainti ja nopeus) osana siltojen yleistä monitorointijärjestelmää.

Konenäkötekniikan osatekijät mukaan lukien kamerat, valaistustekniikat, kuvankäsittelymenetelmät, ohjelmistotyökalut, tietokoneet ja tiedontallennusvälineet, ovat parantuneet, tehostuneet, halventuneet ja tulleet helpokäyttöisemmiksi, mistä johtuen konenäköratkaisut ovat yhä kustannustehokkaampia. Infra-alalla tai sitä läheisesti sivuavilla aloilla on monia vahvoja toimijoita (autoteollisuus, mobiililaittevalmistajat, tiedonkeruu- ja talletusratkaisujen toimittajat (Google), infra-alan palveluntarjoajat ja konsultit), jotka kehittävät uusia tuotteita ja menetelmiä, joita voidaan soveltaa myös teiden ja siltojen ylläpidossa ja hoidossa.

Kokemus osoittaa, että tienpitoon liittyvät konenäkösovellukset ovat monessa suhteessa haastavia. Vaihtelevat kuvaolosuhteet, kohteiden (esim. tien pinta) epähomogeenisuus, järjestelmien käyttöönoton ja hyödyntämisen hitaus sekä mittauksen suorituksen vaatima korkea ammattitaito ovat tekijöitä, jotka on otettava huomioon sovellusten kehityksessä. Toisaalta konenäköalgoritmien vaatima laskentateho ei enää nykyisin ole toteutusten keskeinen este ja tarvittut resurssit ovat monesti tarjolla jo yleiskäyttöisissä alustoissa.

Sovelluksista on myös saatavissa välittömiä hyötyjä ylläpitokohteiden optimaalisessa valinnassa, tiedon laadun paranemisena ja suorina kustannussäästöinä. Monilla sovelluksilla on vaikutusta liikenneturvallisuuden paranemiseen. Ottaen huomioon esiin tulleet moninaiset tarpeet ja saavutettavissa olevat hyödyt, on esiselvityksen perusteella päädytty ehdottamaan useita jatkokehityshankkeita.

Tällaisia kokonaan tai osittain konenäköön perustuvia sovelluksia ovat automaattisen päällystevauriomittauksen (APVM) jatkokehitys, sorateiden kuntoluokittelu, tieverkon varusteiden ja laitteiden inventointi sekä kunnon arviointi, tiepäällysteiden kulumisen ennustaminen jatkuvan liikenne- ja säätiedon avulla, siltojen liikuntasauvojen kunnon arviointi sekä siltojen ja tunnelien monitoroinnin konenäkösovellukset.

Opportunities to utilise machine vision in road maintenance and care. Helsinki 2008.
Finnish Road Administration, Finnra reports, 84 p. ISSN 1459-1553, ISBN 978-952-221-109-5, TIEH 3201105-v.

Key words: Condition measurements, measurement methods, automation, IT, road maintenance

SUMMARY

Machine vision is an ability of a machine to see and interpret what it has seen – just as human vision is an ability to see and interpret the outside world. A machine vision system consists of a camera by which an image of the object is formed and a computer or another device in which algorithms are executed in order to make necessary conclusions. In addition, a channel is needed for transferring the image from the camera into the computer.

Machine vision has plenty of applications especially in various industries. Typical process industry applications include quality measurement of lumber, paper web inspection and also defect detection and quality analysis of metal web. Furthermore, in piece good industries typical applications consist of robot control, reading of codes and texts, measurement of dimensions, position and surface quality as well as counting of pieces. Applications of other business areas comprise for example counting of people in sporting places, monitoring moving objects and measuring the likeness of human faces. Enormous benefits and savings can be achieved for various reasons with many industrial applications.

The first machine vision based applications are currently used in road maintenance in relation to, for example, pavement and road marking condition measurements. The Finnish Road Administration (Finnra) introduced in 2006 an automated crack measurement system for surveying the road network. The automated measurement replaces the visual inventory of pavement cracks. As a result accuracy and repeatability of measured crack information is improving.

Condition of road markings is measured by means of retroreflection of laser light from pavement markings as well as by conducting a visual survey of the marking condition. Five-level classification of pavement marking condition has been replaced by an automated measurement system based on machine vision.

Other relevant machine vision applications relating to infrastructure business include licence plate recognition, speed monitoring, traffic counting and parking place monitoring. Various independent camera systems are utilized for traffic control and monitoring. The travel time monitoring system and the highway tunnel traffic monitoring system are in commissioning phase. A large number of lately developed systems for driver assistance such as traffic sign recognition, lane guides, parking assistance systems and moose alarms are fully or partly based on machine vision technology. In the course of the project experts at Finnra and other players in this field were interviewed in order to find out about the needs and new ideas in connection with machine vision applications for road and bridge maintenance and, furthermore, whether there is any need to develop the existing applications. Plenty of new application ideas were received such as further development of the pavement crack measurement and the image analysis, integration of the PTM and APVM measurements to the same vehicle and inventory of "road furniture" i.e. traffic signs, light poles and road markings, to name but a

few. Moreover, condition measurement of gravel roads is regarded as a highly potential application for machine vision.

As to bridges, the most important issue is the recognition of defects in the water isolation layer early enough in order to prevent irreversible damage in the supporting structures. This is a very challenging issue and machine vision, among other techniques, can hopefully offer some help to solve this issue. Some interesting applications comprise the bridge inspection robot, the inspection of bridge surfaces, bridge expansion joints, the integration of camera images to the laser-scanned 3D-model of the bridge and also the recognition of vehicles on the bridge (i.e. type, number of axels, location on the bridge and speed), of which the latter should be integrated to the general bridge monitoring system.

Machine vision technology including cameras, illumination, image processing, image analysis methods, software tools as well as data storages has developed and become more effective, cheaper and easier to use. As a result machine vision systems have become more cost-effective. In infrastructure business and in related sectors there are numerous powerful actors (car industry, mobile phone manufacturers, data collection and storage suppliers e.g. Google, service suppliers and consultants of infrastructure business, machine manufacturers) who have strong resources to develop new products, technologies and applications based on machine vision that can be utilized in road and bridge maintenance.

Previous experience has shown that machine vision applications designed for road maintenance are challenging in many ways. Factors that need to be considered consist of changing imaging conditions, inhomogeneous objects (e.g. road surface), the slowness of commissioning and utilization process of the systems not to forget the high level expertise of the system users. On the other hand, the processing power required by machine vision algorithms is not anymore a key obstacle for implementations of the applications and the necessary resources are often available in general purpose computer platforms

However, the utilization of machine vision applications provides immediate benefits in terms of optimal selection of the maintenance objects, quality of information and measurements as well as direct cost savings. A large number of applications have a major impact on traffic safety. As a result, considering the various needs and potential benefits several continuation projects have been proposed.

The proposed continuation projects, based fully or partly on machine vision technology, comprise continuation development of the pavement condition measurement, condition measurement of gravel roads, inventory and condition measurement of road equipments and devices, forecasting wearing of roads based on continuously measured traffic and weather conditions, condition measurement of bridge expansion joints as well as machine vision applications of the bridge and tunnel monitoring system.

ESIPUHE

Esiselvitys liittyy Infra 2010 -tutkimusohjelman kehittämisalueeseen "Tuotemalli, tiedonsiirto ja automaatio". Esiselvityksen tavoitteena oli selvittää konenäön sovellusmahdollisuudet teiden ylläpidossa ja hoidossa sekä tuottaa suositukset jatkotoimenpiteiksi ja kehittämiskohteiksi.

Esiselvitys aloitettiin syksyllä 2007 ja ensi vaiheessa kysyttiin Tiehallinnon asiantuntijaverkoilta sekä monilta teiden ylläpito- ja hoitoalan toimijoilta ajatuksia konenäön mahdollisista uusista sovelluksista ja tarpeista kehittää jo käytössä olevia sovelluksia. Esiselvityksen perusteella päädyttiin ehdottamaan useita konkreettisia jatkokehityshankkeita.

Esiselvityksestä on laadittu artikkeleita infra-alan lehtiin. Lisäksi aihetta esiteltiin Infra 2010 -ohjelman seminaareissa vuonna 2008. Selvityksen aikana oltiin tiiviisti yhteydessä konenäön kehittäjiin ja soveltajiin sekä kotimaassa että ulkomailla. Keskustelua ja yhteydenpitoa oli myös muihin vastaaviin käynnissä oleviin kehittämisprojekteihin mm. kiihtyvyyssanturin soveltamiseen liittyen.

Työtä ohjanneen projektiryhmän puheenjohtajana on toiminut Keijo Pulkkinen Oulun tiepiiristä. Lisäksi projektiryhmän työskentelyyn ovat osallistuneet Juho Meriläinen Tiehallinnon keskushallinnosta, Juha Äijö ja Vesa Laine Ramboll Finland Oy:stä, Jukka Ahonen Skanska Asfaltti Oy:stä ja Kari Kotilainen Destia Oy:stä. Konsulttina työssä on toiminut Intopii Oy, josta työhön ovat osallistuneet Seppo Ropponen, Heikki Pylkkö, Topi Mäenpää ja Janne Hetemaa sekä alikonsultteina Matti Niskanen ja Olli Silven Oulun yliopiston konenäkö -ryhmästä.

Esiselvityksen rinnalla toteutettiin hanke "Muutoslaboratorio tuotekehitys- ja suunnitteluprojektien kehittämisessä". Hankkeen tavoitteena oli paneutua infra-alalla yleiseksi koettuihin tuotekehitystyön tulosten käyttöönoton ongelmiin. Muutoslaboratorion vetäjänä toimi Anu Peltola Verve Consultingista ja siitä on laadittu oma raportti Tiehallinnon Selvityksiä -sarjaan.

Oulussa joulukuussa 2008

Tiehallinto

Sisältö

TIIVISTELMÄ	3
SUMMARY	5
ESIPUHE	7
1 KONENÄKÖ	11
1.1 Konenäön sovellusalueet	11
1.1.1 Pinnan tarkastus	12
1.1.2 Mittaus	12
2 ESIMERKKEJÄ KONENÄKÖRATKAISUISTA	14
2.1 Erikoisvalmisteisten kappaleiden tarkastusrobotti	14
2.2 Raekoon mittaus	15
2.3 Paperin pintavikojen tarkastus	16
2.4 Metallinauhan pinnan luokittelu	18
2.5 Kohteen seuranta	18
2.6 Aktiviteettien ja eleiden tunnistus	19
2.7 Superresoluutio	20
2.8 Panoraamakuvaus	21
2.9 Korkean dynamiikan kuvantaminen	22
2.10 Kohteiden tunnistus	22
2.11 Kasvojen yhdennäköisyyden mittaus	23
3 LAITTEISTORATKAISUT	26
3.1 Kamerateat	26
3.2 Muut kuvantamismenetelmät	28
3.3 Laskenta-alustat	28
4 KONENÄÖN HYÖTYJÄ	30
4.1 Esimerkkejä hyödyistä ja säästöistä	31
4.1.1 Paperikoneen tuotannon tehostus	31
4.1.2 Lakritsipatukan painon optimointi	32
4.2 Yhteenveto	32
5 TEIDEN KUNNOSSAPITOON LIITTYVÄ KONENÄKÖTUTKIMUS	33
5.1 Kuntoarviot	33
5.2 Tiemerkinnot	33
5.3 Liikennemerkkit	34
5.4 Muut tutkimukset	34
6 AUTOMAATTINEN PÄÄLLYSTEVAURIOMITTAUS	35
6.1 Automaattisen päällystevauriomitauksen (APVM) tarve ja tavoite	35

6.2	RST-PAVUE mittausajoneuvo	35
6.3	Mittausjärjestelmän tekninen arviointi	37
6.3.1	Kuvanotto	38
6.3.2	Kuva-analyysi	41
6.3.3	APVM-mittauksen ongelmia ja haasteita käyttäjän kannalta	44
6.3.4	Mahdollisia ratkaisuja	44
7	TIEMERKINTÖJEN KUNTOMITTAUS, TIKU	46
7.1	Mittauksen tarve ja tavoite	46
7.2	Ratkaisu	46
7.2.1	Tiku-laitteisto	46
7.2.2	Ohjelmisto ja toiminnot	47
7.3	Käyttökokemukset, puutteet ja ongelmat	49
7.4	Saavutetut ja tavoiteltavat hyödyt	49
7.5	Tiemerkintöjen kuntomittauksen hyödyntämismahdollisuudet	50
7.5.1	Merkintämateriaalien käytön optimointi	50
7.5.2	Paluuheijastavuuden ja kuntomittauksen yhdistäminen	50
7.5.3	Muita mahdollisuuksia	51
8	MUITA INFRA-ALAN SOVELLUKSIA	52
8.1	Rekisterikilpien tunnistus	52
8.2	Konenäkö ajoneuvoissa	53
8.2.1	Liikennemerkkien tunnistus	53
8.2.2	Muita ajoneuvojen konenäkösovelluksia	54
8.3	Kamerajärjestelmät	55
8.3.1	Matka-aikaseuranta	55
8.3.2	Levähdysalueiden valvonta	57
8.3.3	Moottoritien tunnelien kamerajärjestelmät	57
8.4	Tieliikennelaskennat	58
8.5	Liikennevaloristeyksien ohjaus	59
9	TEIDEN YLLÄPIDON JA HOIDON MAHDOLLISET SOVELLUKSET	61
9.1	Automaattisen päällystevauriomittauksen (APVM) ja palvelutasomittauksen (PTM) integrointi	61
9.2	Tiemerkintöjen kuntomittauksen ja paluuheijastavuuden integrointi	62
9.3	Tieverkon varusteiden ja laitteiden inventointi	63
9.4	Tieverkon varusteiden ja laitteiden kunnon arviointi automaattisesti	63
9.5	Tiemerkintöjen inventointi	64
9.6	Sorateiden kuntoluokittelu	65
9.7	Tiepäällysteiden kulumisen ennustaminen jatkuvan liikenne- ja säätiedon avulla	66

9.8	Kuivatus	67
9.9	Muita ideoita	67
9.9.1	Kelirikon hallinta	68
9.9.2	Kitkamittaus	68
9.9.3	Päällysteiden pintakarkeus	68
9.9.4	Tikun jatkokehitys	68
9.9.5	Talvihoito	68
9.9.6	Ajolinjat	69
9.9.7	Uusi mittari kunnon arviointiin	69
9.9.8	Päällystereikien paikkaus	69
9.9.9	Ennustaminen	69
10 SILTOJEN YLLÄPIDON JA HOIDON MAHDOLLISET SOVELLUKSET		70
10.1	Siltakannen vesieristyksen vaurio	70
10.2	Siltojen monitoroinnin konenäkösovellukset	71
10.3	Muita ideoita	73
10.3.1	Pintojen tarkastus	73
10.3.2	Sillantarkastusrobotti	73
10.3.3	Lentävä sillantarkastuslaite	73
10.3.4	Betonin valuhuokosten mittaus	73
10.3.5	Liikuntasaumojen kunnon arviointi	74
10.3.6	Kamerakuvan yhdistäminen laserkeilauksen 3D-malliin	74
11 JOHTOPÄÄTÖKSET		75
11.1	Konenäköpilotti osana Infra 2010-kehitysohjelmaa	75
11.2	Tarpeet etusijalla	75
11.3	Teknisiä näkökohtia	75
11.4	Vaihtelevat olosuhteet	76
11.5	APVM ja Tiku - tärkeimmät käyttökohteet	76
11.6	Kamerajärjestelmien käyttö	76
11.7	Ehdotuksia kehittämiskohteiksi	77
11.7.1	APVM-mittauksen jatkokehitys	77
11.7.2	Sorasteiden kuntuokittelu	77
11.7.3	Tieverkon varusteiden ja laitteiden inventointi sekä kunnon arviointi	77
11.7.4	Tiepäällysteiden kulumisen ennustaminen jatkuvan liikenne- ja säätiedon avulla	77
11.7.5	Liikuntasaumojen kunnon arviointi	77
11.7.6	Siltojen monitoroinnin konenäkösovellukset	78
12 KIRJALLISUUTTA		79

1 KONENÄKÖ

Aistitiedon käyttö on keskeisessä asemassa pyrittäessä kehittämään koneita, joilla on samankaltaisia älykkäitä ominaisuuksia kuin ihmisellä. Näköaisti on muihin aisteihin verrattuna erityisen tärkeä: ihminen saa valtaosan ympäristöstään koskevasta tiedosta näköaistin avulla.

Konenäön yleisenä tavoitteena on saada kone ymmärtämään mitä kameran tai muun sensorin kuvaama näkymä sisältää ja käyttää tätä tietoa hyväksi erilaisissa sovelluksissa. Koneen on pystyttävä tunnistamaan kohteita ja määrittämään niiden sijainnit ja asennot, ilmaisemaan kohteissa tapahtuneita muutoksia ja tulkitsemaan eri havaintojen merkitys. Tehtävät ovat pääasiassa tarkoin ennalta ohjelmoituja, kuten kappaleiden laskentaa liukuhihnalta, sarjanumeroiden lukemista tai pintavikojen etsimistä.

Konenäköksi (machine vision) kutsutaan yleensä järjestelmää, jossa tietokonenäköä sovelletaan teolliseen tarkoitukseen. Järjestelmä koostuu kamerasta, tietokoneesta ja siinä toimivassa kuvankäsittelyohjelmasta, joka tulkitsee kuvan automaattisesti. Järjestelmiä käytetään tehtäviin, joissa optisen tarkastuksen pitää olla nopeaa, tarkkaa, ympärivuorokautista ja toistettavaa. Konenäöllä voidaan korvata ihmiselle rasittavia rutiinitehtäviä esimerkiksi liukuhihnalla tai suorittaa ihmisen näkökyvylle mahdottomia tehtäviä käyttämällä avuksi aallonpituuksia, joita ihmisen silmä ei pysty havaitsemaan.

Kuvantavien tekniikoiden käyttö onkin jo rutiinia teollisuuden automatisoiduissa valmistusprosesseissa. Edelläkävijöinä ovat erityisesti olleet elektroniikka- ja metalliteollisuus, joissa huomattava osa laaduntarkastuksista ja kokoonpanoon liittyvistä ohjaustakaisinkytkennöistä on kustannus- ja laatusyistä toteutettu konenäköratkaisuilla. Kuvantamisen kohteina on ihmissilmälle näkyvien lisäksi myös kokoonpanon myötä paljon piiloon jääviä yksityiskohtia, kuten elektroniikkakomponentin alla olevat liitokset, jotka tarkastetaan läpivalaisutekniikalla.

Vaikka konenäköjärjestelmillä ei ole älyä tai ihmisen oppimiskykyä, niitä pidetään käyttökelpoisina useaan eri tehtävään. Yleensä kuvan automaattinen tulkinta on kuitenkin hyvin vaativaa. Jokaisella sovellutusalueella on omia erityisvaatimuksiaan, eikä yleispäteviä menetelmiä ole onnistuttu kehittämään [1].

1.1 Konenäön sovellusalueet

Karkea jaottelu menetelmien välillä voidaan tehdä käytettävän datan mukaan, 2D- ja 3D-ongelmiin. Tyypillisiä 2D-ongelmia on pinnantarkastus ja yksinkertaiset mittaukset. Toinen lähestymistapa on tuottaa kappaleesta 3D-malli ja tarkastella sitä.

Toinen tapa jaotella visuaalisen tarkastuksen tehtävät on erotella *dimensionaalinen tarkastus* ja *pinnan tarkastus* [2]. Dimensionaalinen tarkastaminen sisältää tehtäviä kuten kappaleen koon ja muodon mittaamisen, kun taas pinnan tarkastus on enemmänkin yksityiskohtaista pinnan ominaisuuksien, kuten värin ja tekstuurin, mittaamista.

1.1.1 Pinnan tarkastus

Pinnantarkastus voidaan jaotella seuraaviin alakategorioihin karkeasti tarkastettavan kohteen mukaan:

Luonnollinen materiaali

Esimerkkeinä tämän kategorian tarkastuksen kohteista ovat elintarviketuotteet, kivi ja puun pinta. Näiden kuviointi ja väritys voivat vaihdella reilusti, mutta ulkonäkö on silti tärkeä tekijä. Laatuluokat ovat usein subjektiivisia eivätkä usein ole itsestään selviä ihmisellekään.

Tyypillisesti tämän kategorian ongelmien ratkaisemiseksi kehitetään tehtäväkohtaisesti joukko piirteitä, joiden mittaaminen korreloi selvitettävän ominaisuuden kanssa.

Synteettinen materiaali

Tyypillisesti tämän kategorian luokissa on selvästi vähemmän variaatiota edelliseen verrattuna. Tarkasteltavana voi olla jokin teollisuustuotteen ominaisuus tai tuotetun kuvion vastaavuus haluttuun verrattuna (esimerkkeinä kudotun kankaan laatu, tulostuksen laatu, tulostetun kuvion täydellisyys jne.). Tyypillinen esimerkiksi on elektroniikassa käytettävien komponenttien tarkastus, jossa variaatio on tyypillisesti todella pientä.

Erona edelliseen kategoriaan on, että ratkaisut ovat usein yksiselitteisempiä, eikä järjestelmän opetus siksi useinkaan ole niin kriittistä. Toisaalta myös tämän kategorian ratkaisut ovat pääosin spesifisiä, eikä jo olemassa olevaa järjestelmää useinkaan pystytä siirtämään sellaisenaan toisen ongelman ratkaisuksi.

1.1.2 Mittaus

Kokoonpanon seuranta

Kokoonpanon seuranta on usein tarkempaa mittausta, kun pinnan tarkastus on enemmän luokittelua mitattujen ominaisuuksien avulla. Seurannassa voi olla esimerkiksi kappaleiden määrän laskeminen liukuhihnalta, osien läsnäolon (tai esim. juotosten) tarkastus ja osien sijainnin mittaaminen (esim. robotin ohjaamiseksi).

Tällaisten ongelmien ratkaisemiseen käytetään monesti mallin sovittamista, eli koko järjestelmän kuvaan pyritään sovittamaan tarkasteltavan kappaleen mallia, mikä antaa tuloksena esim. ko. kappaleen sijainnit ja asennon näkymässä.

3D-mittaus

Tarkasteltavan kohteen kokoa voidaan mitata epäsuorasti. Esimerkiksi raekokojakaumaa voidaan mitata opetukseen pohjautuvan analyysin avulla. Joissain tapauksissa myös valaistuksen muutoksen tai tekstuurianalyysin avulla voidaan estimoida etäisyyden suhteellista muuttumista.

Yleensä konenäköön pohjautuvat 3D-mittaukset ovat spesifisempiä, eivätkä vaadi erityistä opettamista, ellei tämmöiseksi lasketa tietoa kuvassa näkyvän kohteen kuva-alan ja todellisen koon suhteesta (joka voidaan tietää, kun tunnettu kamera on vakio etäisyydellä kappaleesta).

Yksittäisellä 3D-mittauksella voidaan mitata tietyn mittapisteen etäisyyttä. Joissain tapauksissa vierekkäisten mittapisteiden avulla pyritään muodostamaan kappaleesta kolmiulotteinen pinta, usein riittää ennalta valittujen kohtien korkeuden tarkastus.

Mittaamiseen käytettäviä tekniikoita on useita. Mittalaitteen valintaan vaikuttavat esim. tarkasteltavan kappaleen koko ja jossain määrin myös materiaali. Kuitenkin verrattuna esimerkiksi pinnantarkastukseen, ratkaisut tämän kategorian ongelmiin ovat usein paljon suuremmin monistettavissa uusien ongelmien ratkaisemiseksi. Monet pinnantarkastukseksi tulkitut ongelmat on palautettavissa 3-D-pinnankarheuden mittauksiksi, mikä ratkaisumalli yleistyneen valaisutekniikan kehittymisen ja laskenta-alustojen nopeutumisen myötä.

Seuraavassa luvussa konenäön mahdollisuuksia peilataan esimerkisovellusten kautta.

2 ESIMERKKEJÄ KONENÄKÖRATKAISUISTA

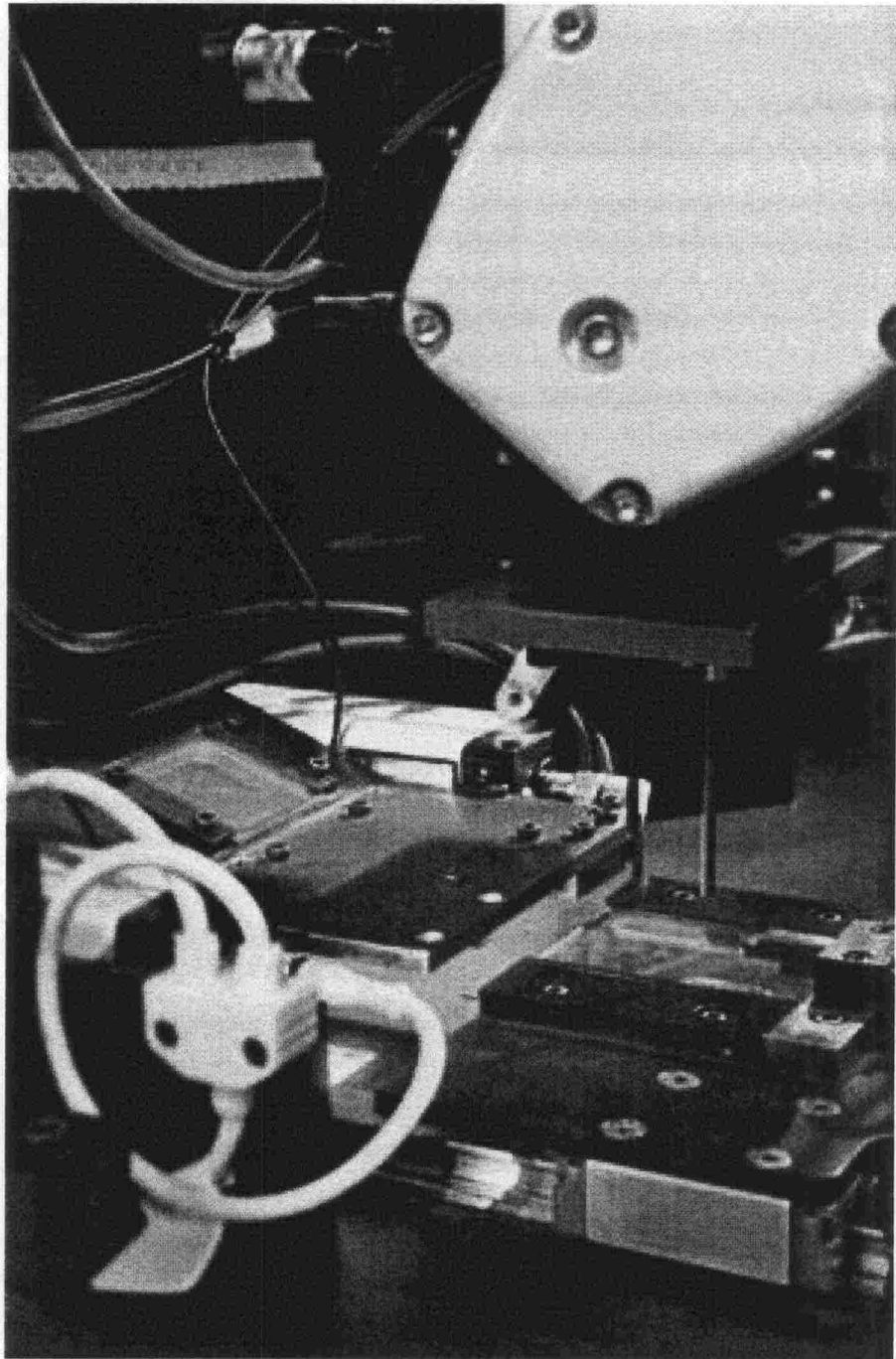
Tässä luvussa esitellään konenäön mahdollisuuksia yleisesti muutaman valitun esimerkkitekniikan ja -sovelluksen avulla.

2.1 Erikoisvalmisteisten kappaleiden tarkastusrobotti

Konenäköä käytetään usein tarkastamaan valmistettavien kappaleiden oikeellisuus. Mittaavia ominaisuuksia verrataan spesifikaatioihin, minkä perusteella kappaleita voidaan hyväksyä tai hylätä jatkokäsittelystä. Esimerkiksi kanadalaisen *AV&R Vision & Robotics:n* [4] (Kuva 1) tarkastusjärjestelmään on integroituna pintavikojen ilmaisu, kirjaimien oikeellisuuden tarkastus ja dimensioiden mittaus.

Esimerkkejä mitattavista pintavioista ovat naarmut, lommot ja värivirheet. Tällaisten mittauksessa valaistusratkaisut (valon aallonpituudet ja valaistuksen ja kuvauksen välinen kulma) ovat tärkeässä osassa. Kuvankäsittelyyn käytetään alalla yleisesti tunnettuja morfologisia menetelmiä [5].

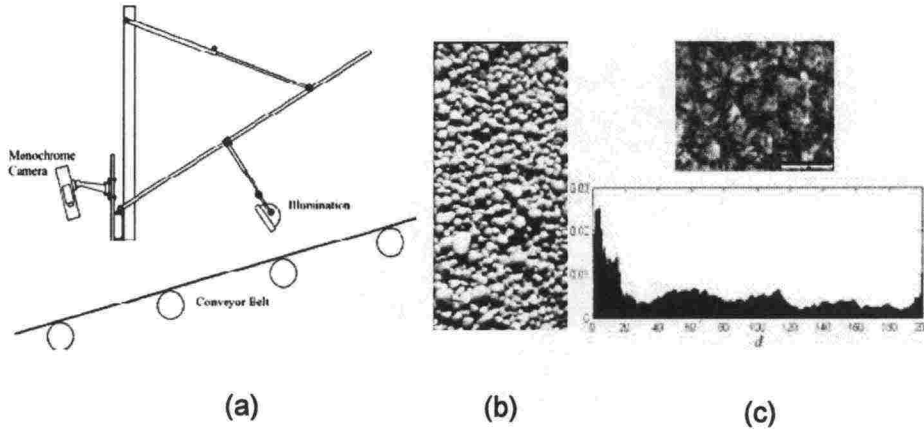
Kirjaimen oikeellisuuden tarkastuksella, validoinnilla, varmennetaan, että asetettujen komponenttien malli vastaa haluttua. Kirjaimien tunnistus hallituissa olosuhteissa on myös hyvin tunnettua tekniikkaa. Kolmas mitattava ominaisuus on dimensioiden. Komponentit saadaan kuvissa esille jälleen erityisillä valaistusratkaisuilla. Kuvauksen tarkkuuden lisäksi mittaustarkkuuteen vaikuttaa kameran kalibrointi, jolla tarkoitetaan kameran sijainnin ja sisäisten ominaisuuksien tarkkaa mittaamista.



Kuva 1. Tarkastusjärjestelmä, joka kykenee mittaamaan ja etsimään pintavikoja samanaikaisesti.

2.2 Raekoon mittaus

Raekoon mittauksessa ei suoriteta yksittäistä yksiselitteistä mittausta, vaan pyritään tyypillisesti arvioimaan rakeisen seoksen jakauma, kun vain osa sen komponenteista on näkyvissä. Yksittäisten komponenttien mittaus ei ole suoraviivaista, vaan rakeet ovat päällekkäin eivätkä näin täysin näkyvillä.



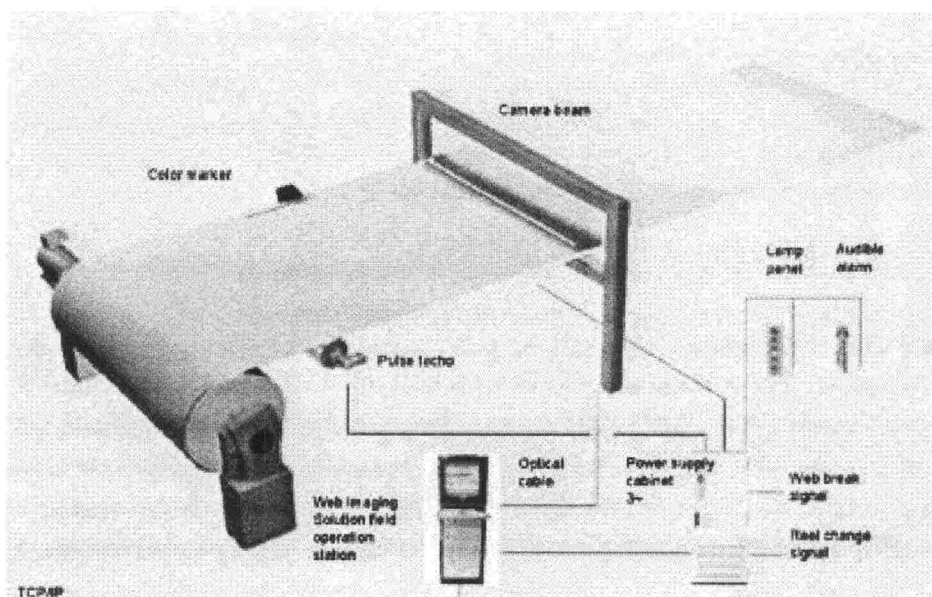
Kuva 2. Raekoon mittausjärjestelmä (a) suunnitellaan siten, että yksittäiset rakeet (b) ovat selkeästi erotettavissa. Tuloksena saadaan raekoon jakauma (c).

Periaatteessa materiaalin kokojakauma on määritettävissä pinnan näkymästä matemaattisin menetelmin. Toistaiseksi tätä mahdollisuutta ei ole juurikaan hyödynnetty sovellutuksissa, mihin syynä lienee lähinnä tiedon puute mahdollisuudesta.

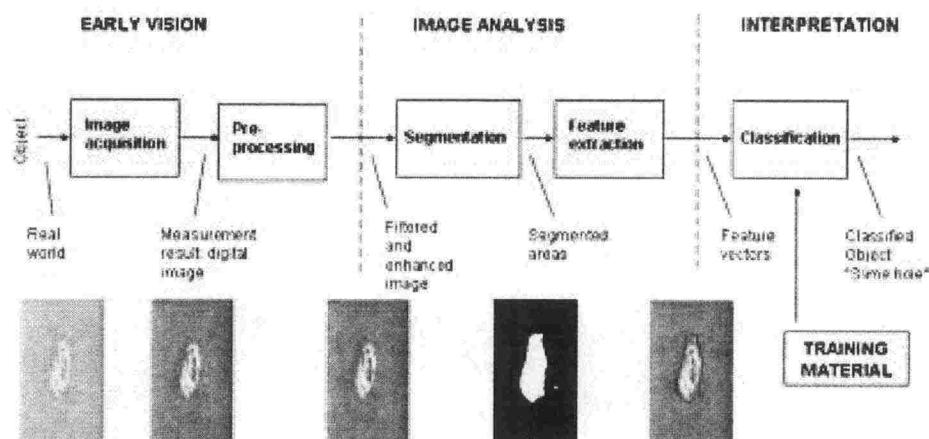
Raekoko on esimerkki mittauskohteesta, jonka mittaukseen on sovellettu useita ratkaisuja. Mittauksessa on käytetty esim. 3D profiilimittausta, 2D kuvien värjoja (jotka saadaan erikoisrakenteisella sivuvalaistuksella) tai suoraa tekstuurianalyysiä 2D kuville.

2.3 Paperin pintavikojen tarkastus

Usein pintavikojen tarkastusta ei voida tehdä yleisiä ratkaisuja käyttäen. Luonnollista materiaalia (puu, ruoka, kivi jne.) ei voida yksi yhteen verrata malliin, vaan järjestelmän toiminta pitää alusta asti opettaa tarkastettavalle kohteelle.



Kuva 3. Paperin pinnantarkastusjärjestelmä.



Kuva 4. Tyypillinen tarkastusjärjestelmä koostuu kuvauksesta, kuvan esikäsittelystä, alueiden rajaamisesta, piirteiden laskennasta ja luokittelusta.

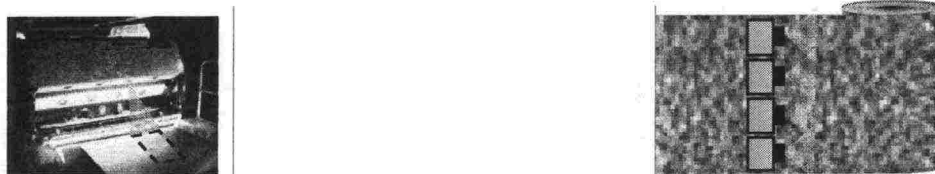
ABB:n valmistama paperin pinnantarkastusjärjestelmä /6/ (Kuva 3) vastaa tyypillistä käytätapausta – kuvasta etsitään vikoja, näille lasketaan joukko kuvaavia piirteitä. Lopuksi saatuja piirteitä verrataan epäsuorasti kerättyyn opetusaineistoon (Kuva 4). Tässä tapauksessa piirteiden avulla on opetettu ns. neuroverkkoluokitin. Vaihtoehtoisia menetelmiä on useita.

Paperin pinta on monesti mattamainen, heijastaen valoa kaikkiin suuntiin, mikä antaa mahdollisuuden soveltaa sen 3-D pintarakenteen määrittämiseen varsin suoraviivaisia matemaattisia menetelmiä. Esimerkiksi ruotsalaisen OptiTopo-laboratoriojärjestelmän suosio on tässä tarkoituksessa kasvamassa sekä paperi- että painotuoteteollisuudessa. Suomessa Lappeenrantalainen LabVision kehittää on-line pinnankarheusmittaria, joka

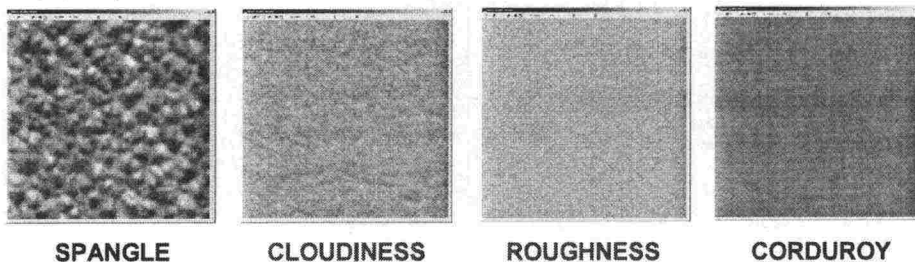
pystyy ottamaan muutaman mikrometrin resoluutiolla kuvia täydellä nopeudella kulkevasta paperirainasta. Ratkaisun avainkomponentteja on pulssitettu diodivalaisu, jonka on kehittänyt tamperelainen Cavitär. Tulevaisuudessa vastaavalla tekniikalla voi olla sovelluksia myös tämän selvityksen ongelma-alueella.

2.4 Metallinauhan pinnan luokittelu

Metallinauhan ominaisuuksia voidaan luokitella ottamalla nauhan pinnasta näytekuvia. Tekstuuri-analyysimenetelmällä kuvista erotetaan piirteitä, joiden perusteella pinta voidaan luokitella esimerkiksi karheuden tai pilvisyyden mukaan. Luokittelussa käytetään neuroverkkopohjaista luokittelijaa. (Cognex, Intopii)



Any quality-based valuation of the surface that can be made by visual inspection:



SPANGLE

CLOUDINESS

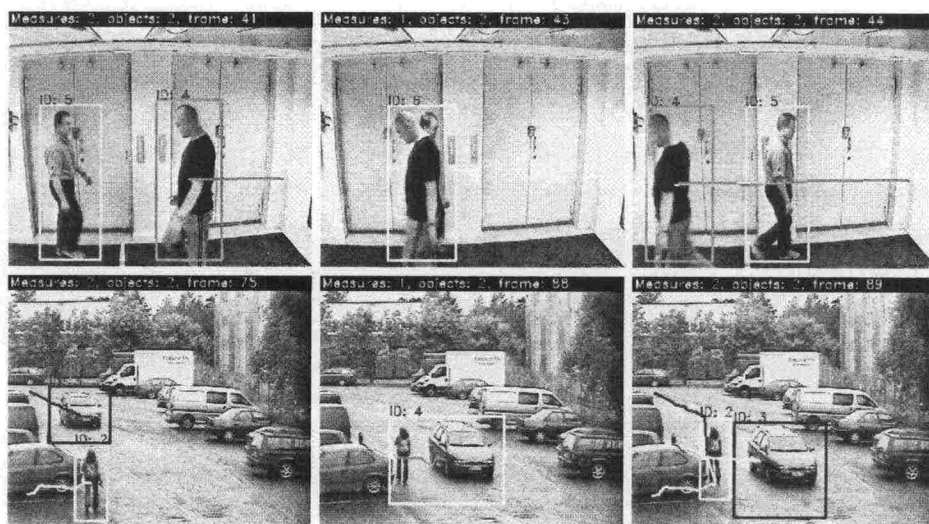
ROUGHNESS

CORDUROY

Kuva 5. Metallinauhan pinnan luokittelu tekstuuri-analyysiä käyttäen

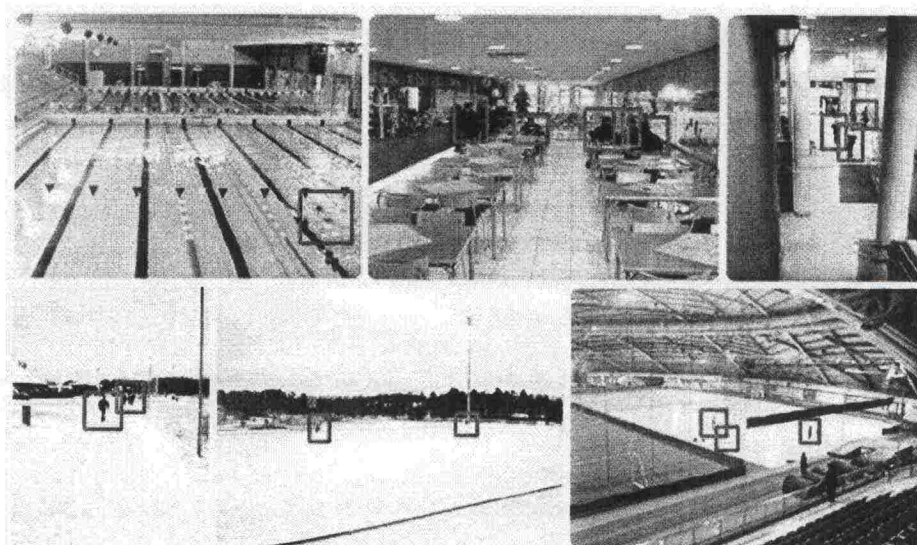
2.5 Kohteen seuranta

Kohteiden seuranta on tekniikka, jolla havaittujen kohteiden paikkaa ja liikettä pyritään seuraamaan. Sovellusalue on erityisessä suosiossa turvallisuuspuolella, mutta käyttöä on paljon laajemmaltikin (esim. käyttöliittymät, aktiviteettien tunnistus, liikenteen laskenta jne.).



Kuva 6. Ihmiset ja ajoneuvot ovat tyypillisiä automaattisesti seurattavia kohteita.

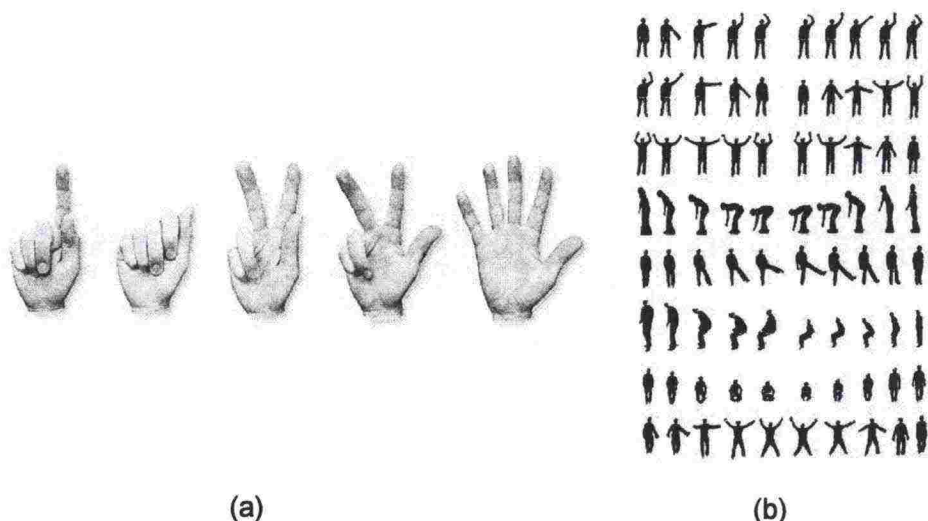
Kohteiden seurantatekniikan kaupallinen sovellus on urheilupaikkojen, kuten uimahallien, hiihtolatujen, kuntosalien ja pallokenttien, kuormitusasteen ja henkilömäärien seuranta ja raportointi. (Intopiin Otos)



Kuva 7. Urheilupaikkojen kuormitusasteen seuranta

2.6 Aktiviteettien ja eleiden tunnistus

Konenäön avulla voidaan tunnistaa ennalta opittuja toimintoja. Tekniikka on lupaava esim. käyttöliittymissä, joissa laitetta voidaan ohjata sovitulla viittomilla (Kuva a). Ihmisen asentojen (Kuva b) tunnistaminen yhdistettynä sijaintiin mahdollistaa myös monenlaiset älykkäät turvallisussovellukset (epäilyttävän käyttäytymisen havainnointi) tai liikenteen ennakkoinnin (ajoneuvon eteen tulevien henkilöiden ennakkointi)



(a)

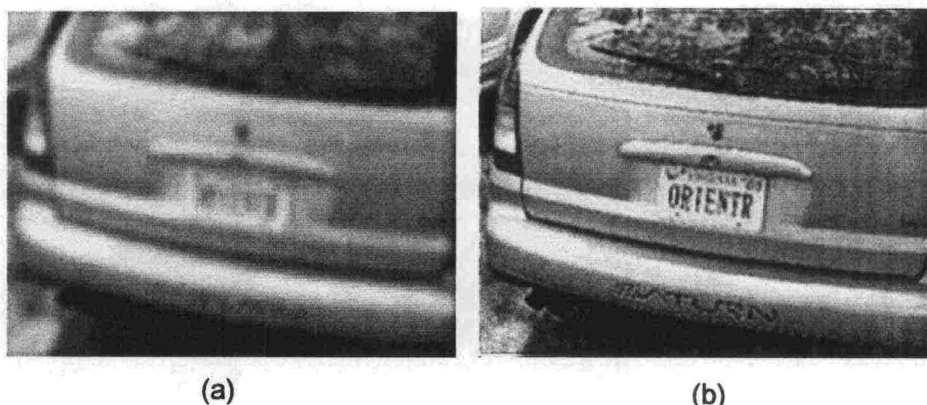
(b)

Kuva 8. Kone voidaan opettaa tunnistamaan esimerkiksi yksinkertaista merkkikieltä tai ihmisen asentoja.

2.7 Superresoluutio

Superresoluutioksi kutsutaan tekniikoita, joilla kuvan resoluutiota kasvatetaan laskennallisin keinoin. Tällöin useammasta normaali-resoluutioisesta (tai epätarkasta) kuvasta saadaan muodostettua paremman erottelukyvyn omaava kuva. Tämä mahdollistaa mm. halvempien kameroiden käyttämisen pienten yksityiskohtien tarkastelussa. Menetelmiä superresoluutiokuvan tuottamiseen on useita, mutta kaikki toimivat edellyttävät että yksittäisten kehysten välillä tapahtuu korkeintaan globaalia liikettä. [7]

Superresoluutiotekniikoiden vaatima laskenta on tehnyt menetelmistä hitaita ja monesti soveliaampia laboratoriokäyttöön kuin nopeaa vasteaikaa vaativiin sovellutuksiin. Tilanne on kuitenkin nopeasti muuttumassa, sillä sovellutuksen algoritmit hyötyvät suuresti par'aikaa yleistyvistä GPGPU-tekniikasta (General Purpose computation on Graphics Processing Units, grafiikkaprosessoreihin perustuva yleislaskenta). Käytännössä voidaan odottaa n. 100X tai suurempaakin nopeutumista. Tietoisuus tästä mahdollisuudesta on jo muuttamassa eräiden laaduntarkastussovellutusten kuvausratkaisujen suunnitteluperiaatteita



Kuva 9. Superresoluutiolla useasta huonompilaatuisesta kuvasta (a) saadaan laskennallisesti tuotettua korkeampilaatuinen kuva (b).

2.8 Panoraamakuvaus

Panoraamakuvauksessa osittain päällekkäisistä kuvista muodostetaan yksi suurempi kuva. Tekniikassa on paljon samaa kuin superresoluutiassa. Pienempikennoisella kameralla saadaan kaapattua isompi kuva-alue tarkalla resoluutiolla. Tekniikoista panoraamakuvaus vaatii kuvien tarkkaa rekisteröimistä, kehysten valintaa siten, että terävät yksityiskohdat saadaan jäljelle, mutta liikkuvia kohteita vältetään kuvien laidalla. /8/



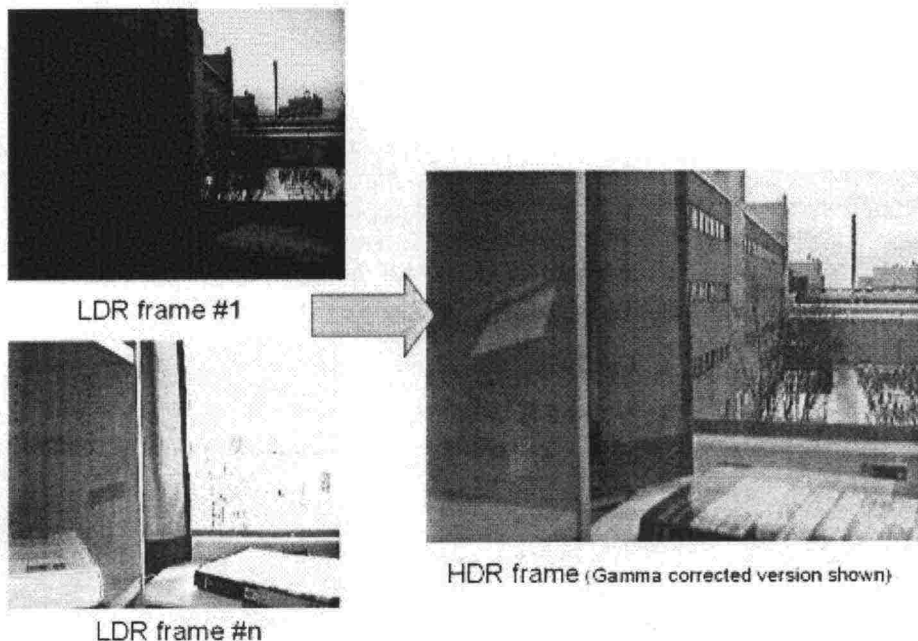
Kuva 10. Panoraamakuvauksessa liitetään useita kuvia yhteen suuremman kuvan aikaansaamiseksi.

Myös panoraamakuvauksen laskennalliset vaatimukset saadaan helposti tyydytettyä GPGPU-tekniikalla, mikä on vaikuttamassa matriisikameroiden yleistymiseen eräissä aiemmin viivakameraan perustuneissa ratkaisuissa. Käytännössä panoraamakuvaus ja superresoluutiomenetelmät ovat hyödyllisiä samoissa sovellutuksissa, sillä panoraamakuvien koostaminen edellyttää kuvien sisältävän saman näkymän osia.

Seurauksena voi olla sekä hinta- että resoluutioetu, mutta useampien kuvien ottaminen samasta kohteesta mahdollistaa myös seuraavan osion esittämän dynamiikkaa parantavan strategian hyödyntämisen.

2.9 Korkean dynamiikan kuvantaminen

Tässäkin tekniikassa useampaa kuvaa käytetään muodostamaan yksi parempilaatuinen kuva. Ideana on säätää peräkkäisten kuvien valotusaikaa niin, että koko dynaaminen alue saadaan paremmin tarkasteltua. Lyhyen valotusajan kehykset kertovat kirkkaista yksityiskohdista, kun taas pitkää valotusaikaa käytetään hämärien alueiden yksityiskohtien selvittämiseen. Menetelmä soveltuu hyvin esim. ulkoilmakuvaukseen, jossa osat tarkasteltavista alueista ovat varjossa ja osat kirkkaassa auringonpaisteessa – tilanne, jossa normaalilla 8 bitin dynamiikalla tapahtuu joko kirkkaiden alueiden satureitumista tai tummien alueiden hukkumista kohinaan tai molempia. Tekniikkaa voidaan yhdistää myös panoraamakuvauksen ja superresoluutiokuvauksen kanssa. /9/



Kuva 11. Korkean dynamiikan kuvauksessa yhdistetään eri valotusajalla otettuja kuvia kirkkaiden ja tummien yksityiskohtien erottamiseksi

Korkean dynamiikan kuvaustekniikkaa käyttäviä sovelluksia on vielä harvassa, sillä hyödyntäminen edellyttää tyypillisesti myös panoraama- ja superresoluutiotekniikoita. Tarvittavat laskentaresurssit ovat vasta aivan viime aikoina tulleet tarjolle. Menetelmien yhdistelmät mahdollistavat useiden toistaiseksi ylivoimaisen kalliiksi arvioitujen konenäkösovellutusten edullisen toteuttamisen. Mobiililaitteiden valmistajat lienevät tämän kehityksen kärjessä.

2.10 Kohteiden tunnistus

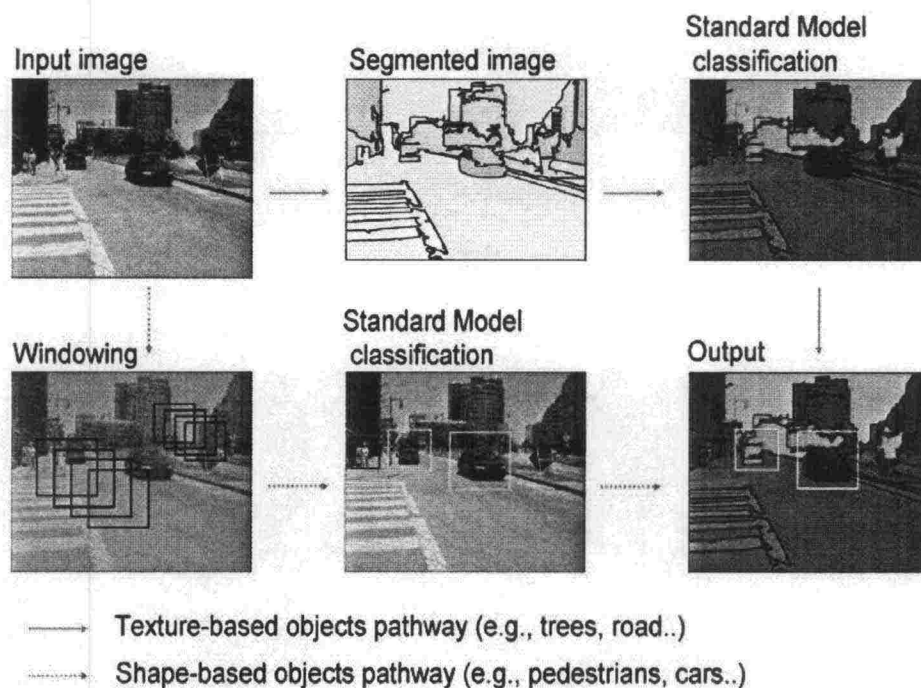
Kuvattavasta kohteesta voidaan tunnistaa ennalta opetettuja objekteja tai objektityyppejä. Logojen (liikennemerkkien) tunnistus on yksinkertaisempi ongelma, kun voidaan tietää, että samojen merkkien sisällössä ei esiinny juurikaan variaatiota. Hieman vastaava ongelma on kirjainten tunnistus

(esim. suomalaiset rekisterikilvet). Tällöin variaatio syntyy lähinnä valaistuksesta ja vaihtuvasta kuvauskulmasta.

Monimutkaisempia ongelmia on ulkomuodoltaan vaihtelevien esineiden tunnistus. Lupaavia menetelmiä tällaisiin on kuitenkin olemassa. Näkymän luokittelu kohteen mukaan (tie, nurmikko, taivas jne.) voidaan tehdä pinnan kuvioinnin ja värin perusteella. Vaikka sama automalli näyttääkin samasta suunnasta katsottuna aina samanlaiselta (tarkka tunnistus), on myös eri automalleissa tyypillisiä piirteitä, jotka mahdollistavat niiden erottamisen esim. polkupyöristä (objektikategorian tunnistus).

Panoraamatekniikat, dynamiikan maksimoiva kuvaus, ja superresoluutiomenetelmät edullisen laskentatehon kanssa pystyvät suuresti parantamaan erottelukykä sekä laatua ja tätä kautta kohteentunnistuksen tarkkuutta.

Useiden kuvien ottaminen edes osin samasta näkymästä liikkuvalla kameralla antaa myös mahdollisuuden ainakin karkeaan 3-D rekonstruktioon, joka pystyy tukemaan kohteentunnistuksessa. Tällaiset ratkaisut ovat toistaiseksi olleet ns. demonstraatioasteella, mutta ovat selvästi siirtymässä loppukäyttöön.



Kuva 12. Kohteen tunnistuksessa voidaan erotella esim. pintamateriaaleja (tie, nurmikko) tai tunnistaa yksittäisiä esineitä (esim. autoja).

2.11 Kasvojen yhdennäköisyyden mittaaminen

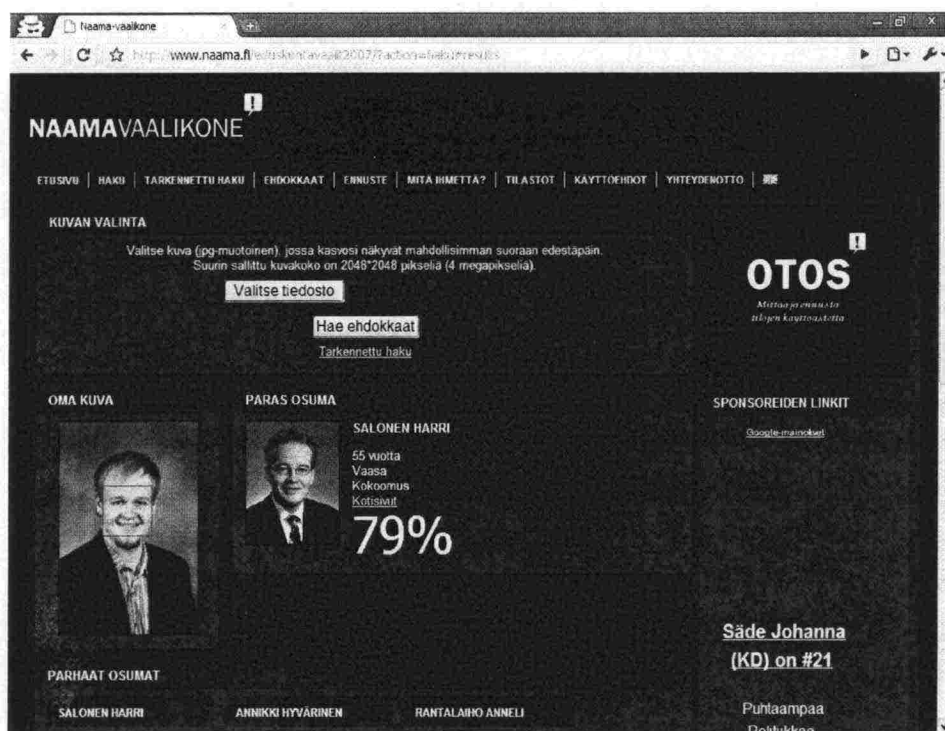
Myös ihmisiä pystytään tunnistamaan esimerkiksi vartalon tai kasvojen perusteella. Jos halutaan tietää onko kuvissa kasvat, puhutaan ilmaisusta. Tunnistuksesta puhutaan, kun halutaan tietää, kenen kasvat ovat kyseessä (Kuva). Käyttäjän henkilöllisyys voidaan varmentaa mittaamalla kasvojen

yhdenmukaisuutta (Kuva). Tällaisilla tekniikoilla on mahdollista mm. tunnistaa ajoneuvon kuljettaja rajatusta ihmisjoukosta.

Kuljettajan tarkempi tarkastelu mahdollistaa mm. ihmisen ilmeiden tunnistamisen tai silmäluomien liikkeen havaitsemisen, jota voidaan käyttää ajoneuvon kuljettajan väsymystilan automaattiseen huomaamiseen.



Kuva 13. Kameralla varustettu laite löytää ja tunnistaa ihmisen kasvot /10/.



Kuva 14. Kasvojen yhdenmukisuuden mittausta voidaan käyttää henkilön verifiointiin lisäksi myös viihdesovellutuksissa /11/.

Monissa tapauksissa ihmisen paikalla olo on helpompi ja luotettavampaa todeta hakemalla kasvot, kuin muista epäsuoremmista piirretiedoista. Tulevaisuudessa monien ihminen-kone-liityntöjen oletetaan perustuvan kasvotiedon hyödyntämiseen, joten siihen liittyvät tekniikat ja työkalut tulevat olemaan yleisiä.

3 LAITTEISTORATKAISUT

Mittaustarkkuutta voidaan parantaa suunnittelemalla mittausolosuhteet laitteiston mukaan. Saavutettavissa oleva mittaustarkkuus on myös kompromissi käytettävän laitteiston edullisuuden kanssa. Halpa yleisiä standardeja noudattava laitteisto voi olla kilpailuetu siinä missä tarkkuuskin.

3.1 Kamerate

Kameran valintaan vaikuttaa mm.

- vaadittava kuvausnopeus,
- mittausrésoluutio (ja tarkkuus),
- värit (väri vai harmaasävy) ja
- liittynät sekä
- hinta.

Kuvan résoluutio ja kuvanopeus vaikuttavat suoraan siirrettävän tiedon määrään. Tämä voi asettaa rajoituksia käytettävälle väyläratkaisulle. Tyypillisimpiä liittäntöjä ovat USB2, Firewire, Camera link ja gigabit ethernet. Lisäksi voidaan erotella suoraan verkkoon (ethernet, wlan) liitettävät IP kamerat.

USB2:n ja Firewire:n edullisuutta lisää, että niissä ei tarvita erillistä kaappauskorttia, liittännät ovat monesti valmiina ja tarvittaessa sopiva esim. PCI-väylään liitettävä kortti saadaan halvalla. USB2 on tyypillisesti halvoissa kameroissa, kuten web-kameroissa käytettävä ratkaisu. Kuvan siirtomatka on rajoittunut noin 5m:iin. Kommunikointiprotokollaa ei ole standardoitu.

Firewire sallii maksimissaan täydellä kaistanleveydellä 4.5m kaapelin käytön ilman vahvistimia. Firewire 800 tuplaa maksiminopeuden ja standardi mahdollistaa optiset yhteydet jopa 200m:iin asti. Standardoitu liittäntä (DCAM) mahdollistaa jopa saman ajurin käytön tehden kameran vaihdon helpoksi. Firewire ja USB mahdollistavat käyttöjännitteen tuomisen kameralle samalla kaapelilla.

Camera link mahdollistaa usein nopeamman kuvansiirron, mutta hinnan kustannuksella. Kallis kaapeli ja erikseen tarvittava kuvankaappauskortti nostavat hintaa merkittävästi. Huono standardointi erityisesti kaapeloinnin osalta heikentää laitteiston käyttöä ja yhteensopivuutta.

Gigabit Ethernet mahdollistaa kuvan siirron pitkiä matkoja (jopa 100 m) ja tarjoaa laajan kaistanleveyden (standardi mahdollistaa nimensä mukaisesti 1 Gb/sekunti, käytännössä noin 115 MB/sekunti).

IP kameroiksi sanotaan kameroita, joita ei tarvitse liittää tietokoneeseen, vaan ne voidaan liittää suoraan verkkoon, jonka yli kameroita ohjataan. Etuna on erityisesti mahdollinen langattomuus, joka saavutetaan WLAN:in avulla liityttäessä. Tällöin kamera voidaan laittaa paikkoihin, jonne ei voida vetää johtoja tai jossa kaapelointi aiheuttaisi suuria kustannuksia tai muita haittoja. Käyttöjännite kameralle täytyy kuitenkin jollain tapaa tuottaa. Kaistanleveys on usein hyvin rajattu. Langallisetkin yhteydet ovat tyypillisesti kytketty 10/100 Mbitin ethernet-verkkoon, ja WLAN mahdollistaa käytännössä noin 5MB/sekunti siirtonopeuden. Tämä rajoittaa résoluutiota

minkä lisäksi kuva välitetään pakattuna, mikä myös heikentää saavutettavissa olevaa tarkkuutta. Tyypillisesti IP-kamerat tarjoavat MPEG-4 pakattua videota noin 640x480 pikselin resoluutiolla 30 kehystä/sekunti tahdilla.

Taulukko 1. Kameraliityntöjä.

	USB2	Firewire	Camera link	Gigabit ethernet	IP (ethernet, wlan)
Käytännön kuvanopeus	55MB/s	41MB/s (firewire 800, 64MB/s)	255-765MB/s	115MB/s	1-6MB/s (wlan)
Suora yhteys	5m	4.5m (optisella 200m)	10m	100m	10-30m
yhteis vahvistimilla	30m	72m	rajoittamaton	rajoittamaton	
Liitäntä	PCI kortti / suora	PCI kortti / suora	Kaappauskortti	GIGe Verkkokortti	Verkko / wlan
kameroita	127	63	1	rajoittamaton	
+/-	Halpa	Halpa	Nopea / kallis	Nopea	Halpa, Helppo asennus (langattomuus) / Hidas (huono kuvanlaatu)

Edellä mainittujen seikkojen lisäksi kameroita voidaan jakaa myös kennon avulla. Matriisikamerat tuottavat 2D kuvaa, kun taas viivakamera antaa kerrallaan vain yhden juovan informaation. Tyypillisesti ilmaisimena käytetään joko CCD- tai CMOS kennoa. Jälkimmäistä suositetaan pientä virrankulutusta haluttaessa. Tarkkaa värikuvausta haluttaessa valonsäde ohjataan prisman läpi kolmelle ilmaisimelle, joista kukin tuottaa yhden värikanavan informaation. Halvemmissa ratkaisuissa kennon päällä on värisuodattimet, ja eri värit ilmaistaan vierekkäisten pikselien avulla.

Laskennan tuominen kameraan auttaa erityisesti pienentämällä tiedonsiirtoon tarvittavaa kaistaa. Edellä mainitut IP- kamerat pakkaavat kuvaa kaistan riittävyyden varmistamiseksi. Ne sisältävät usein myös muuta ohjelmistoa, jonka avulla kameraa voidaan hallita. Ns. älykameroilla voidaan suorittaa kohteelle joitain ennalta määrättyjä laskuoperaatioita, jolloin mahdollisesti vältetään koko kuvan siirtämiseltä.

Tällä hetkellä kameraan perustuva kuvantaminen on halvempaa kuin koskaan aiemmin. Esimerkiksi miljoonan pikselin resoluutioiset lähiverkkoteknologiaa signaalitienä käyttävät kamerat ovat hinnaltaan lähellä analogisia kameroita. Samanaikaisesti kuluttajaluokan teräväpiirtoresoluution kameroiden hinnat putoavat nopeasti ja niiden perustekniikan voidaan osoittaa löytävän sovellutuksia myös teollisuudessa. Vaikka teräväpiirtokameroiden suorittamaa kuvanpakkausta on monesti pidetty konenäkökäytön esteenä, niiden antamat kustannusedut, ml. tarvittu siirtokaista, ovat toisaalta johtaneet kehittämään pakatuille kuville toimivia menetelmiä. Esimerkiksi kasvojen tunnistukselta vaaditaan säännöllisesti kykyä toimia häviöllisesti pakatun kuvamateriaalin kanssa. Myös panoraamakuvauksen ja superresoluution tekniikoita on kehitetty toimimaan pakatulla kuvadatalla.

3.2 Muut kuvantamismenetelmät

Tyypillisimmin konenäössä käytetään joko musta-valko – tai värikameroita. Näiden käyttöä puoltaa usein edullinen hinta. Ne vastaavat myös kohtuullisen hyvin ihmisen näkökykyä, minkä ei tosin pitäisi olla peruste niiden käytölle automaattisessa tarkastelussa. Joihinkin sovelluksiin soveltuukin paremmin useamman aallonpituuden käyttö. Valitut aallonpituudet voivat myös olla ihmisen näkökyvyn ulkopuolella. Tällöin (joissain tapauksissa) mittaustekniikka voi olla täysin toinen. Alla on lueteltu joitain vaihtoehtoisia kuvantavia mittalaitteita

- laajennettu värikamera
- spektrografi
- infrapunakamera
- mikroaaltoskanneri
- magneettiresonanssi
- röntgen tomografia
- röntgen laminografia
- akustinen mittaus

Kamerakuvaan perustuva konenäkö tai edes kuvatiedon käyttö ei aina ole paras vaihtoehto, jos tarkasteltavasta ilmiöstä saadaan haluttu tieto joltain muuta menetelmää käyttäen helpommalla tai halvemmalla.

3.3 Laskenta-alustat

Laskenta-alustat voidaan jakaa karkeasti neljään kategoriaan:

- älykamerat (Cognex inSight, Matrox iris),
- kompaktit näköjärjestelmät (Matrox 4sight, Omron, NI),
- PC-pohjaiset järjestelmät (standardi PC) ja
- erikoisratkaisut (Dalsa, Alacron) .

Älykamerat ovat integroituja järjestelmiä, jotka kuvan kaappauksen lisäksi sisältävät prosessorin, joka voi irrottaa kuvasta informaatiota ilman ulkoista käsittely-yksikköä. Usein näissä käsittelyä rajoittaa laskennan hitaus ja käytettävissä olevien algoritmien liiallinen yleisluontoisuus. Kompaktit näköjärjestelmät integroivat kuvauksen ja käsittelyn omaan laitteistoonsa. Nämä mahdollistavat älykameroiden tapaan valmiin laskennan käytön, mutta ovat usein myös ohjelmoitavissa. Erikoisratkaisujen toteuttamisen mahdollistavat mm. älykkäät kuvankäsittelyalustat, joita voidaan liittää sulautettuihin järjestelmiin.

Yksinkertaiset ongelmat voidaan ratkaista suoraan älyantureilla, mitkä ovatkin tällöin varteenotettava vaihtoehto. Älykameroiden määrä on viime vuosina ollut kovassa kasvussa. Yhtenä syynä tähän on ratkaisun kompaktius. Kompaktiuteen päästään myös PC-pohjaisilla ratkaisuilla langattomia IP kameroita käytettäessä: kaapelinipuilta vältytään ja itse laskenta voidaan suorittaa jossain muualla.

Älyantureiden yleistymisestä huolimatta PC-pohjaiset ratkaisut ovat edelleen useimmiten sopivimpia spesifisempiin tarpeisiin. PC:n yleistymiseen erityisesti sulautettujen järjestelmien kustannuksella on vaikuttanut halvalla

saatavissa olevan tehon kasvu. Samassa paketissa saadaan verkkoliitännät, käyttöliittymä, näyttö, käyttöjärjestelmä jne. Toisaalta PC:den ja sulautettujen järjestelmien välillä on havaittavissa lähentymistä, kun PC:den koko pienenee ja sulautetut käyvät yleiskäyttöisemmiksi ja kyvykkäämmiksi. Monet sulautetut järjestelmät ovat jo kykeneviä ajamaan täysiä käyttöjärjestelmiä (Linux, Windows) ja tukevat standardeja I/O liitäntöjä.

PC- ja matkaviestinlaitteidenkin grafiikkaprosessorien laskentatehoreservit ovat aivan lähitulevaisuudessa saatavissa nykyistä helpommin konenäön algoritmien käyttöön. Tämä tulee tarkoittamaan 10-100-kertaisia nopeutuksia, mikä potentiaali ei ole jäänyt järjestelmäintegraattoreilta havaitsematta. Seurauksena konenäköön tarkoitetut erikoislaskentaratkaisut harvenevat huomattavasti.

Kehityskulku on ennakoitavissa tieteellisessä laskennassa tapahtuneen muutoksen pohjalta. Grafiikkaprosessorien laskentatehojen ollessa jopa 2000-kertaisia PC-tietokoneisiin verrattuna, moneen eturivin tutkimuskäyttöön riittää henkilökohtainen hyvin varusteltu "pelikone". Puutteena on enää ollut ohjelmointi ja sovellustarjonta. Ohjelmoitavuuden ongelmat ovat keväällä 2009 ratkeamassa OpenCL-kielen avulla, joka mahdollistaa eri grafiikka-alustoille siirrettävien sovellutusten kirjoittamisen. Ns. superkoneiden rooliksi on jäämässä erittäin suurta laskentatarkkuutta ja muistia vaativat sovellutukset.

4 KONENÄÖN HYÖTYJÄ

Konenäön avulla saavutettavat hyödyt teollisuudelle ovat rahallisia. Joissain tapauksissa hyöty on suoraan mitattavissa, mutta usein se on välillistä, ja tarkkaa hyötyä on hankala mitata. Tässä luvussa on esitetty yleisesti esitettyjä perusteluja konenäön käytölle ja vertailtu konenäköä ihmisiin. Argumentteja pyritään myös peilaamaan käytännön esimerkkeihin. Suoranaiset rahallisesti mitattavat säästöt ovat useimmiten yrityssalaisuuksia, eikä tietoa niistä siksi ole tavallisesti julkisesti saatavilla. Rahallisia etuja voidaan kuitenkin arvioida järjestelmien hinnan ja menekin mukaan. Useilla yrityksillä hankintapäätös edellyttää takaisinmaksua jopa alle vuodessa. Kun nämä satojen tuhansien laitteet ovat tyypillisesti käytössä vähintään kymmenen vuotta, on saavutettavaksi arvioitu etu merkittävä.

Konenäkö nähdään usein keinona korvata ihmisen tekemä työ automaattisesti. Tällöin onkin luontevaa verrata konenäöllä tehtävää työtä ihmisen tekemään. Juuri kameroiden käyttämistä antureina perustellaankin usein ihmisen näköaistin tärkeydellä ihmisen havainnoinnille. Käytännössä hyöty muihin antureihin nähden voi olla jossain muualla. Näitä ovat tiedon laadun lisäksi anturoinnin kohtuullinen hinta ja näköaistimen passiivinen luonne (ei tarvitse fyysistä kontaktia tarkasteltavan kohteen kanssa). Seuraavassa vertailussa keskitytään nimenomaan konenäön vertaamiseen ihmiseen, joskin useissa tapauksissa jokin muu automaattinen ratkaisu saattaa tuottaa saman tai jopa suuremman hyödyn.

Konenäköä teollisuudessa on perinteisesti käytetty paljon erityisesti laaduntarkastuksessa. Ihmisen tekemänä tämä työ on usein

- kallista
- hidasta,
- epäjohtonmukaista, ylimalkaista ja
- epätarkkaa.

Työvoimakustannukset ovat usein suurimpia syitä konenäön käyttöön. Suorat säästövaikutukset ovat tällöin helposti laskettavissa säästyneinä palkkakuluina. Myös nopeudeltaan konenäkö ylittää useimmiten ihmisille sallitun laskenta-ajan, ja saavutettavat nopeudet nousevat laskentatehon kasvamisen ansiosta. Joissain paikoissa ihmisen tekemä tarkastus ja jälkikäsittely on koko ketjun pullonkaula, jolloin kapasiteetin lisäys mahdollistaa kokonaistuotannon lisäyksen. On myös työskentelyolosuhteita, joissa ihminen ei yksinkertaisesti pysty toimimaan.

Ihmisen tekemä työ ei useinkaan yllä tarkkuudeltaan konenäöllä saavutettavan tarkkuuden tasolle ja ihmisen työn tulos vaihtelee mm. kokemuksen, vireyden ja motivaation mukaan. Työn tulos perustuu useimmiten yleisilmeeseen ja ihmisen kykyyn yhdistellä tietämiään asioita ympäröivästä maailmasta. Koneilta puuttuu tämä näkemys, mutta toisaalta ne pystyvät suorittamaan samaa tehtävää väsymättä täysin objektiivisesti, ja mukautumaan viiveettömästi esim. vaihtuviin standardeihin..

Eri standardien soveltaminen laadutuksessa voi olla tärkeä kilpailuvaltti. Usein virheellisesti liian hyväksi luokiteltuja kappaleita sallitaan tietty

prosenttimäärä kokonaismäärästä. Tarkemmalla laadutuksella kappaleita ei tarvitse varmuuden vuoksi luokitella alempaan kategoriaan, vaan olemassa olevia tuotteita pystytään myymään optimaaliseen hintaan. Vastaava hyöty saadaan, kun materiaalista saadaan tuotettua parempilaatuisia tuotteita tai tuotanto voidaan peilata suoraan tilauskantaan. Esimerkiksi konenäköjärjestelmän ohjaamalla sahatavaran särmäyksellä yksittäisten kappaleiden hinta voi nousta merkittävästi, kun laatua pudottavat reunaokset voidaan optimoida kappaleen ulkopuolelle. Tarkan lajittelun ansiosta tämä kappale myös lajitellaan oikein ja kyetään myydä oikealla hinnalla. Ihmisen tekemä arvio perustuu yleissilmäykseen, eikä yhtä hyvää optimointia saada tehtyä ja yhdistettyä tulkintaan, vaikka keskimääräinen tarkkuus olisikin hyvä. Edellä mainittujen kaltaisten hyötyjen rahallista hyötyä on mahdollista arvioida, kun tarkkuusparannus on tiedossa.

Laadun parantamisesta saatava hyöty voi olla myös hankalammin mitattavissa. Asiakastyytyväisyys näkyy toki suoraan reklamaatioiden määrässä, mutta myös saavutettavissa markkinaosuuksissa. Yrityksen tuotteiden laadulla voidaan vaikuttaa koko yrityksen imagoon.

On myös olemassa tehtäviä, jotka ihminen tulee suorittamaan "manuaalisesti", mutta ovat olemassa konenäkötekniologian ansiosta. Esimerkiksi sähkökaappi voi sisältää kymmeniä kontakteja, joiden tiedetään lämpenevän normaalia enemmän vikaantumisen lähestyessä. Toisaalta kontaktorien normaalit lämpötilat vaihtelevat suuresti. Periaatteessa ihminen voisi aukaista sähkökaapin säännöllisin väliajoin ja vertailla lämpökamerakuvaa aiempiin. Käytännössä ihmisen tekemänä vertailu on kuvien luonteen vuoksi kuitenkin lähes mahdotonta ja jää siksi tekemättä. Konenäkötekniikoiden avustamana se on kuitenkin varsin suoraviivainen ja nopea operaatio, joskin vaatii kehittyntä menetelmätekniikkaa ja huomattavaa laskentatehoa ollakseen reaaliaikainen.

4.1 Esimerkkejä hyödyistä ja säästöistä

4.1.1 Paperikoneen tuotannon tehostus

Esimerkki 1

Erään Keski-Euroopassa sijaitsevan SC-paperikoneen tuotanto oli 200000 tonnia vuodessa. Paperikoneen ongelmana oli huono taloudellinen tulos, joka johtui pääasiassa runsaista katkoista, jotka alensivat tuotannon tehokkuutta. Yrityksistä huolimatta katkojen syitä ei ollut pystytty selvittämään ja kone oli lakkautusuhan alla.

Tehdas aloitti tuotannon tehostamis- ja laadun parantamiskampanjan, jonka aikana tehtaalle asennettiin integroitu ratakatko- ja vianilmaisujärjestelmä. Kampanjan tuloksena tehtaan nettotuotanto nousi 5%, mistä puolet arvioitiin johtuvan järjestelmän käyttöönnotosta.

Hyötylaskelma:

- tuotannon tehostumisen taloudellinen hyöty on tuotteen myyntihinta vähennettynä tuotteen materiaali- ja energiakustannuksilla. Hyöty on tässä tapauksessa n. 500 €/tn
- 2,5 % paperikoneen tuotannosta on 5000 tn/vuosi, mikä kerrottuna 500 €:lla antaa lisätuotannon nettohyödyksi 2,5 M€ vuodessa

Järjestelmäinvestoinnin takaisinmaksuaika on muutaman kuukauden, mikä täyttää tiukimmatkin investointikriteerit ja investoinnin avulla paperikoneen sulkemisuhka voitiin välttää. Lisäksi tuotteen laatu ja asiakastyytyväisyys paranivat.

Esimerkki 2

Kanadassa sijaitsevan sanomalehtikoneen tuotanto oli 200000 tn/vuosi. Koneella oli 7 -8 katkoa päivässä ja tuotannon menetys 5 % kapasiteetista. Tehdas otti käyttöön integroidun ratakato- ja vianilmaisujärjestelmän, minkä avulla katkojen määrä saatiin vähenemään keskimäärin 2 katkoon päivässä. Taloudellinen hyöty on n. 2,5 – 3 M€ vuodessa ja lisänä laatumaineen paraneminen. Investointi konenäköjärjestelmään oli erinomainen millä tahansa kriteerillä mitattuna.

4.1.2 Lakritsipatukan painon optimointi

Lakritsipatukkoja valmistavan tehtaan vuosituotanto oli 7 miljoonaa kg vuodessa. Ongelmana oli lakritsipatukkojen ylipaino verrattuna myyntipakkauksessa ilmoitettuun painoon. Tehdas asensi konenäköjärjestelmän, joka mittaa patukan paksuutta ja sen mukaan säätää lakritsin tuloaukkoa, jota aikaisemmin säädettiin käsin. Järjestelmän avulla pystyttiin vähentämään patukkojen painoa 5% tuotantomäärästä, eli "ylipainosäästö" oli 65000 kg.

4.2 Yhteenveto

Yleisesti konenäön puolesta argumentoidaan seuraavilla seikoilla:

- Palkkakustannukset
- Nopeus
- Raaka-aineiden käyttöasteen tehostaminen
- Parempi laatu
 - hinta
 - imago, markkinaosuudet

Kaikki hyödyt eivät ole yleistettävissä kaikkiin ongelmiin, eikä konenäkö ole aina ratkaisu. Usein saavutetut mittavat hyödyt tulevan osana suurempaa järjestelmämuutosta, ja hyötyjen osittaminen pelkästään konenäölle on tämän takia hankalaa. Laskentatehon halventuessa ja menetelmien kehittyessä konenäkö kuitenkin tulee hyödylliseksi osaksi yhä useammassa paikassa muuta teollisuutta.

5 TEIDEN KUNNOSSAPITOON LIITTYVÄ KONENÄKÖTUTKIMUS

Liikenteeseen ja teihin liittyvä konenäkö tutkimus on aktiivista, ja varsinkin autonomisten ajoneuvojen ja kuljettajan apuvälineiden kehittämiseen on viime vuosina panostettu paljon. Aktiivisinta tutkimus on ollut liikennemerkkien tunnistamiseen ja kaistojen seuraamisessa käytettävissä menetelmissä ja järjestelmissä. Aihealuetta sivuaa myös rekisterikilpien tunnistus. Näistä aiheista löytyy paljon tutkimusartikkeleita, mutta monien kehitettyjen menetelmien soveltuvuus teiden kunnossapitoon on kyseenalaista.

Ellei päällystevaurioiden mittausta oteta lukuun, varsinaisesti kunnossapitoon liittyviä artikkeleita on julkaistu suhteellisen vähän. Monia aihetta sivuavia tutkimuksia voidaan kuitenkin hyödyntää epäsuorasti. Esimerkiksi liikennemerkkien tunnistusta voidaan käyttää inventoinnin ja kaistojen löytämismenetelmiä tiemerkintöjen automaattisen mittauksen apuna.

Seuraavissa kappaleissa aihealueeseen liittyvät tieteelliset tutkimukset on jaoteltu neljään kategoriaan: kuntoarviot, tiemerkinnät, liikennemerkit ja muut. Näihin liittyvistä julkaisuista on pyritty kokoamaan mahdollisimman edustava otos. Julkaistujen artikkelien kokonaismäärä on etenkin päällystevauriomittausten ja liikennemerkkien tunnistuksen osalta huomattavasti suurempi.

5.1 Kuntoarviot

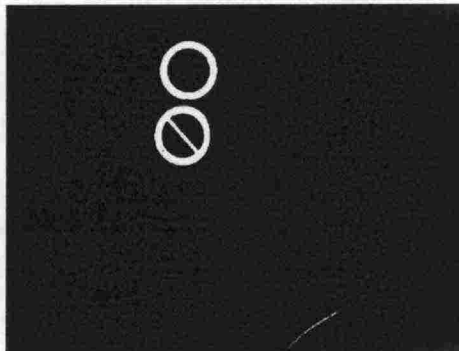
Suurin osa teiden kunnossapidossa käytettyä konenäköä käsittelevistä tieteellisistä artikkeleista keskittyy nimenomaan kuntoarvoihin. Artikkeleissa käsitellään menetelmiä, joilla voidaan mitata päällysteen kulumista, halkeamia ja kuoppia. Menetelminä käytetään hyvin erityyppisiä kuva-analyysimenetelmiä ja kuvanparannusalgoritmeja. Erilaisia luokittelumenetelmiä analysoidaan ja saavutettuja tuloksia vertaillaan. Artikkeleissa käsitellään myös järjestelmiä, joilla mittaus voidaan suorittaa, mm. kolmiulotteista lasermittausta (ns. tekstuurilaser). Tuloksia raportoidaan käytetyn mm. etäohjatun halkeamankorjauskoneen tekemisessä ja teiden kunnan mittaamisessa videokuvasta. /13 – 22/

5.2 Tiemerkinnät

Tiemerkintöjen analysointiin käytettävien analyysimenetelmien tutkimuksessa tavoitteena on useimmiten ollut kehittää autonominen ajoneuvo tai auton turvallisuutta ja helppokäyttöisyyttä lisääviä ominaisuuksia. Merkintöjen kunnanmittaukseen liittyvää julkista tutkimusta on vähän. Parissa (/25–26/) artikkeleissa käsitellään ranskalaisten kehittämää automaattista maalauslaitetta, jonka tavoitteena on helpottaa tiemerkintöjen uudelleenmaalausta. Järjestelmä pyrkii tunnistamaan merkinnät ja päättämään automaattisesti maalauksen tyyppin ja uudelleenmaalauksen tarpeen. Järjestelmää on kehitetty Telecom Bretagne -tutkimuslaitoksen ja Dotmobil -yrityksen (www.dotmobil.com) yhteistyönä, mutta sitä ei ole vielä kaupallisesti saatavilla. /23 - 26/

5.3 Liikennemerkkit

Liikennemerkkien tunnistamismenetelmiä on kehitetty sekä autonomisia ajoneuvoja ja autoilijan apuneuvoja varten että ylläpidon ja inventoinnin näkökulmasta. Artikkeleissa esitellään menetelmiä liikennemerkkien löytämiseen vaikeissa olosuhteissa ja osittain peittyneinä. Myös merkkien kunnonarviointimenetelmiä on kehitetty. Dotmobilin ja Telecom Bretagnen yhteisprojektissa on kehitetty myös liikennemerkkien inventointiin soveltuvia menetelmiä, mutta näitäkään ei ole vielä kaupallisesti saatavilla. /27 – 31/



Kuva 15. Liikennemerkkien tunnistus

5.4 Muut tutkimukset

Muita aihetta läheltä sivuavia tutkimuksia on tehty mm. siltojen inventointiin ja korjaukseen liittyen. Artikkeleissa esitellään siltoja tarkistava, autoon kiinnitetty robotti ja käsitellään maatutkan käyttöä siltojen tarkastuksessa. Rekisterikilpien tunnistamisesta on julkaistu paljon artikkeleita, samoin liikenteenlaskennasta, joskaan näistä saatua informaatiota ei ole käytetty ylläpidon apuvälineenä. Mielenkiintoinen on myös tilastollisilla menetelmillä tehty teiden kuntoarviointi, vaikkei se sinällään suoraan liity konenäkö tutkimukseen. /32 – 36/

6 AUTOMAATTINEN PÄÄLLYSTEVAURIOMITTAUS

6.1 Automaattisen päällystevauriomittauksen (APVM) tarve ja tavoite

Päällystevaurioiden automaattinen mittaus (APVM) on uusi, vuodesta 2006 lähtien käytössä ollut tapa päällystetyn tieverkon vaurioitumisen arviointiin. Mittaustavalla korvattiin vanha visuaaliseen menetelmään perustuva vaurioinventointi (PVI). APVM:n käyttöönoton lähtökohtana oli saada aikaisempaa visuaalista inventointia parempi toistettavuus sekä objektiivinen, tekijästä riippumaton mittaustulos. /41 – 44/

APVM-mittauksen ensisijaisena tavoitteena on tuottaa riittävän tarkkaa vauriotietoa a) päällystysohjelmoinnin tarpeisiin eli vaurioiden suhteen huonokuntoisten tieosuuksien löytämiseen ja b) tieverkon rappeutumisen seurantaan. Nykytiedon valossa sopivin kuntomuuttuja edellä mainittuihin tehtäviin on vaurio-osuus, tosin aiheeseen liittyvää tutkimus- ja kehitystyötä tehdään koko ajan. Mittaustekniikan ja kuvantulkinnan kehittyessä tavoitteena on kehittää vauriomuuttujia myös hankesuunnittelun ja päällysteiden laadunvalvonnan tarpeisiin. Nykytekniikka ei vielä pysty tarjoamaan riittävän yksiselitteisiä ja toistettavia vauriomuuttujia esimerkiksi toimenpiteiden valintaan (päällystäminen vs. rakenteen parantaminen), vaikkakin tien pinnasta tuotettavia vauriokuvia ja -karttoja voidaan jo nyky muodossakin tähän tarkoitukseen käyttää.

6.2 RST-PAVUE mittausajoneuvo

Päällystevaurioiden automaattiset mittaukset (APVM) tehdään Ramboll RST:n valmistamalla mittausajoneuvolla, jonka tuotenimi on PAVUE. Mittalaite sopii tieverkon ja tietyn kohteen vauriomittaukseen sekä tutkimustyöhön. /37/



Kuva 16. Ramboll Pavue vauriomittausajoneuvo

Mittausajoneuvon laitteisto

- digitaaliset videokamerat ajoneuvon takana ylhäällä, 4 kpl
- valopalkki alhaalla ajoneuvon takana
 - o valkoinen valo tai punainen LED-valo
- Laser-mittapalkki ajoneuvon edessä
- GPS-laite auton katolla
 - o sijainnin mittaus
- pulssianturi auton akselissa
- kamera auton katolla reaaliaikaiseen tiekuvien ottoon
- tietokone ja tiedontallennuslaitteisto auton sisällä
- operointipääte auton sisällä
 - o tiedonkeruun laadunvalvontaan
 - o järjestelmän viritykseen ja kalibrointiin

Mittalaite kerää tietoa neljän videokameran avulla, jotka kuvaavat tienpintaa jatkuvasti auton liikuessa. Mittaus tapahtuu liikenteenmukaisella ajonopeudella. Mittaus voidaan suorittaa vuorokauden ajasta riippumatta. Mittausleveys on 3,5 metriä. Ajoneuvo sijoitetaan periaatteessa keskelle ajorataa. Pituuden mittaus tehdään sekä pulssianturin että GPS-paikannuksen avulla.

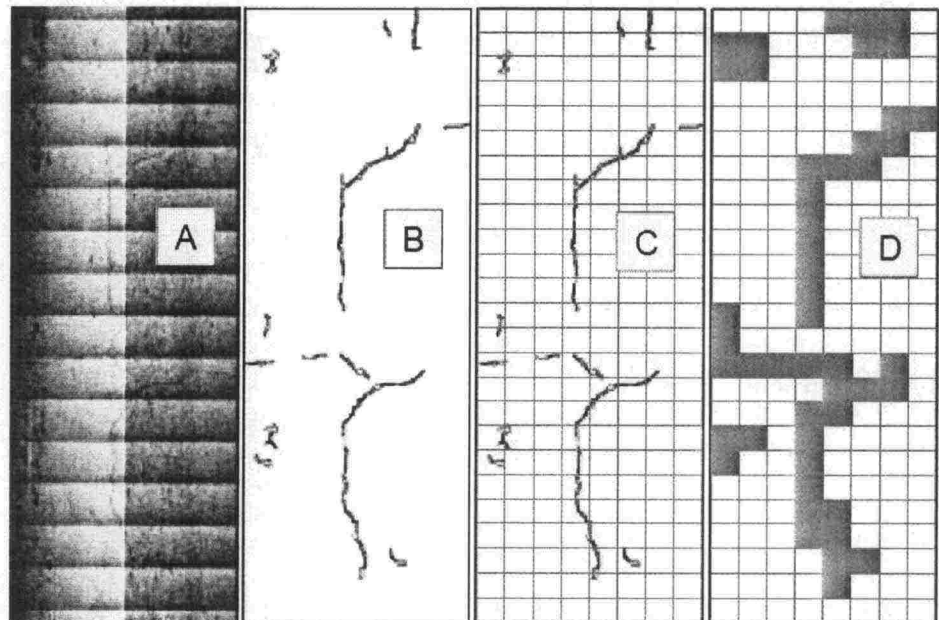
Mittausnopeus on 5 - 70 km/h. Kaikki auton kamerat on synkronoitu kuvaamaan samanaikaisesti. Mittaushetki määräytyy pulssianturilla rekisteröidyn, kuljetun matkan mukaan. Mittauslaitteistoon kuuluu erillinen tienpintaa valaiseva valaistusjärjestelmä, jolla taataan tasalaatuiset valaistusolosuhteet kuvattaessa.

Kameroiden, valaistuksen ja tietokoneiden lisäksi autossa on erilliset tien pinnan karkeutta mittaavat viisi laseranturia. Nämä anturit ovat samanlaisia kuin PTM -autojen anturit ja ne on sijoitettu ajoradan poikkisuunnassa

tasavälisesti. Karkeusarvot ohjaavat kuvantulkinnassa käytettäviä parametreja. Tunnistettujen vaurioiden perusteella lasketaan vauriomuuttujat, joita ovat vaurio-osuus (koko kaista) ja vaurio-osuudet kaistan eri osissa.

Tien pinnasta otetut kuvat tallennetaan vaihdettavalle kovalevyille ja ne analysoidaan tiedonkeruun jälkeen erillisenä vaiheena toimistolla.

Kameroiden ottamat neljä rinnakkaista kuvaa analysoidaan erikseen ja yhdistetään sen jälkeen yhdeksi kaistan levyiseksi, pituussuunnassa jatkuvaksi kuvaksi. Eriksen kamerakohtaisesti tehdyt vaurioanalyysit yhdistetään myös koko kaistan levyiseksi.



Kuva 17. Kuvankäsittelyn vaiheet

Tiestä neljällä videokameralla otetut kuvat yhdistetään (A) ja tästä lähtödatasta poimitaan kamerakohtaisesti kuvankäsittelyn keinoin vauriotieto (B). Kuvassa C vauriotieto sijoitetaan ruudukkoon, jonka avulla vaurioiden sijainti kaistalla määritellään ja vaurioituneiden ruutujen määrän perusteella lasketaan vaurio-osuus (D).

6.3 Mittausjärjestelmän tekninen arviointi

Seuraavassa arvioidaan PAVUE -laitteistolla otettuja tiekuvia ja niistä tehdyn kuva-analyysin tuloksia. Kuvamateriaalin perusteella ja Rambollin Juha Äijön ja Petra Offrellin sekä Oulun yliopiston konenäköryhmän kanssa käytyjen keskustelujen pohjalta on laadittu arvio siitä, mitkä ovat käytössä olevan menetelmän vahvuudet ja heikkoudet ja miten sitä voitaisiin parantaa. Arvio on jouduttu tekemään osittain vajavaiseen tietoon perustuen, sillä Rambollin asiantuntijat eivät voi luottamuksellisuussyistä luovuttaa kovin yksityiskohtaista tietoa.

6.3.1 Kuvanotto

Nykyinen kuvausjärjestelmä

Järjestelmä ottaa kuvia neljällä rinnakkain sijoitetulla analogisella videokameralla, joiden kuva-ala valaistetaan punaisilla led-valoilla tai xenon-valoilla. Muuttuvat olosuhteet, kuten tien pinnan kosteus, vaikeuttavat kuvan ottoa. Auton tärinä taas pakottaa ottamaan kuvat hyvin lyhyellä valotusajalla.

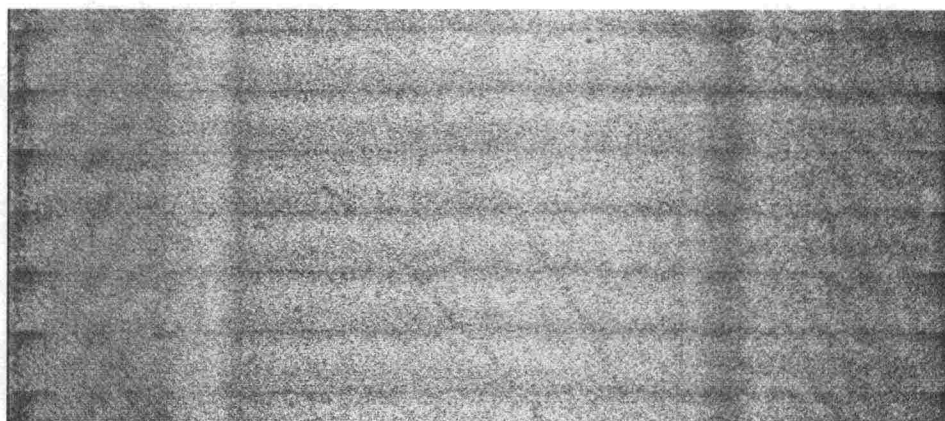
Kuvien resoluutio on 3846 pikseliä 10 metrille eli n. 2,6 mm/pikseli. Käytännössä tämä tarkoittaa, että jos kamera on fokusoitu täsmälleen tien pintaan, voidaan muuten hyvälaatuisesta kuvasta havaita pienimmillään n. 5 mm leveitä halkeamia tai muita vaurioita. Koska kameran ja tien pinnan välinen etäisyys käytännössä muuttuu koko ajan, on täysin fokusoidun kuvan saaminen lyhyellä valotusajalla lähes mahdotonta. Todellinen koko pienimmälle havaittavalle vialle lienee lähempänä senttimetrin kuin millimetrin luokkaa.

Kuvien laatu on haastavat olosuhteet huomioon ottaen kohtuullista tasoa. Arviomme kuitenkin on, että kuvan laatua voitaisiin kuvausjärjestelmää muuttamalla parantaa selvästi.

Nykyjärjestelmän ongelmia

Järjestelmässä käytetty kuvaustekniikka on vanhaa, ja sitä parantamalla voitaisiin saavuttaa merkittävästi parempi kuvanlaatu. Kuvien perusteella näyttää siltä, että analogiset videokamerat käyttävät tiedonsiirtoon ns. lomitustekniikkaa, jolla käytännössä hukataan puolet kameran resoluutiosta.

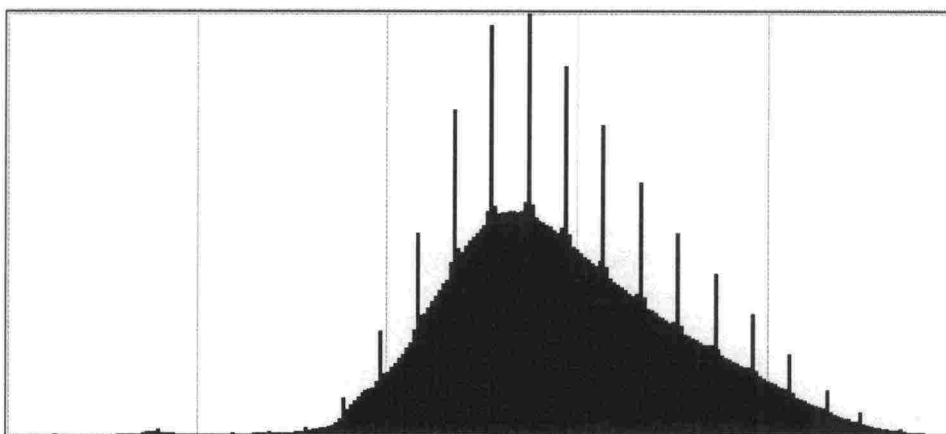
Matriisikamera kuvaa tien pintaa suhteellisen suurelta alueelta, joka on optimaalisen kuvalaadun saavuttamiseksi valaistava tasaisesti. Tasaisen valaistuksen järjestäminen suurelle alueelle on vaikeaa, ja tämä näkyy kuvissa selvinä valaistustasoeroina (Kuva 18). Osasyyn tähän on se, että valon heijastuskulma on eri matriisikameran kuvan eri osissa. Etenkin kuvan reunoilla valaistuksen epätasaisuudesta aiheutuu intensiteettitasen paikallisia muutoksia, jotka vastaavat n. 20 % suurimmasta teoreettisesta tasoerosta. Tämä aiheuttaa kuvan tulkinnalle haasteita, sillä valotason vaihtelusta aiheutuva harmaasävytason vaihtelu on samaa luokkaa tai jopa suurempi kuin tien pinnan vioista aiheutuva. Kokonaan ongelmasta on vaikea päästä eroon, sillä lainsäädäntö rajoittaa kuvauslaitteiston leveyttä, mutta kuvien perusteella näyttää siltä, ettei järjestelmä korjaa valotasoeroja laskennallisesti, vaikka se olisi mahdollista.



Kuva 18. Kestopäällystettyä tietä PAVUE -laitteiston kuvaamana.

Täysin optimaalisesti otetussa kuvassa on käytössä maksimimäärä harmaasävyjä, joka 8-bittisissä kuvissa on 256. Usein kuvat pyritään ottamaan niin, että esimerkiksi 99 % normaalisti kuvassa esiintyvistä harmaasävytasosta täyttää nämä 256 tasoa. Tällöin sanotaan, että kuvan tehollinen värisyvyys on 8 bittiä. Nykyjärjestelmän tehollinen värisyvyys on n. 6 bittiä (64 harmaasävytasoa), mikä on olosuhteet huomioon ottaen kohtuullista tasoa, muttei erityisen hyvä.

PAVUE-laitteiston tallettamien kuvien harmaasävyjen jakaumassa esiintyy piikkejä, jotka kertovat, että harmaasävyjä on vähennetty laskennallisesti. Kuvassa 19 on esitetty tyypillinen harmaasävyjen jakauma logaritmisella asteikolla. Jakaumasta näkyy selvästi, ettei tehollinen harmaasävyalue täytä koko harmaasävyalueita.

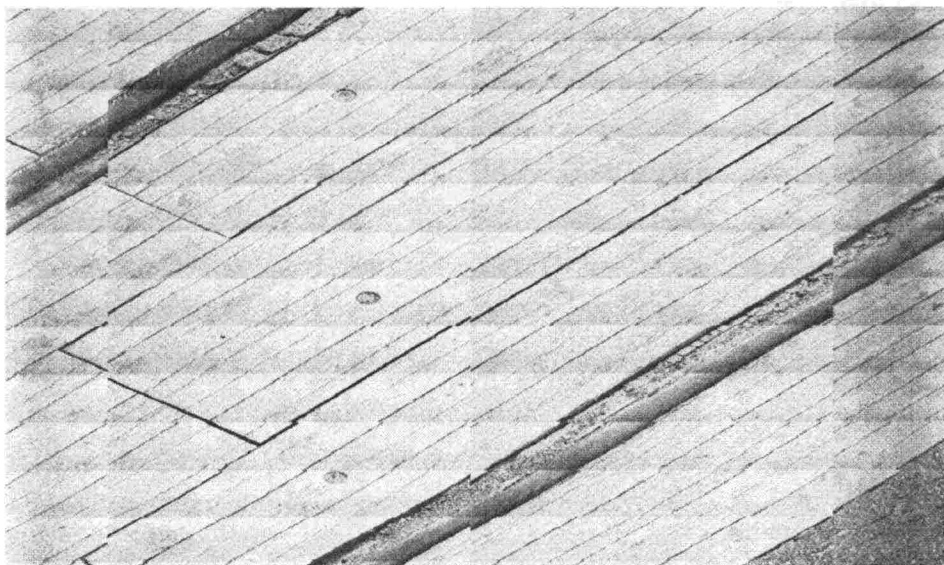


Kuva 19. Tyypillisen APVM -laitteiston ottaman kuvan harmaasävyjakauma.

PAVUE-järjestelmän kuva-analysiohjelmisto määrittää vauriotietoa jokaisesta kamerakuvasta erikseen ennen kuin kuvat yhdistetään.

Toinen nykyjärjestelmän ongelma on, ettei kameroita ole kalibroitu ja synkronoitu sellaisella tarkkuudella, että kuvat voitaisiin kunnolla yhdistää. Kohdistus- ja geometriavirheet näkyvät selvästi kuvassa 20, jossa PAVUE-laitteisto on ylittänyt rautatien tasoristeyksen. Kohdistusvirhe on useiden

senttimetrien luokkaa, mikä vaikeuttaa huomattavasti yksittäisistä kuvista havaittujen vaurioiden yhdistämistä.



Kuva 20. Kuvankohdistusvirheitä.

Parannusehdotuksia

Valaistukseen liittyviä ongelmia voitaisiin vähentää käyttämällä kuvanottoon matriisikameran asemesta viivakameraa. Tällöin tasaisesti valaistu alue voi olla hyvin kapea, ja markkinoilla on tarjolla nimenomaan tähän tarkoitukseen suunniteltuja erikoisvaloja. Viivakameran avulla voidaan kokonaan päästä eroon pituussuuntaisista saumakohdista kuvassa. Poikittaistenkin saumojen poistaminen helpottuu, sillä kalibroinniksi riittää viivojen päiden sovittaminen toisiinsa.

Viivakamerallakaan ei päästä eroon linssin aiheuttamasta tummumisesta kuvan reunoja kohti (vinjetointi), mutta tämän vaikutus suhteessa epätasaisen valotason vaikutukseen on pieni. Viivakameran valotusaika voi olla huomattavasti matriisikameraa lyhyempi, millä voidaan vähentää värinän vaikutusta. Toisaalta viivakamera on myös herkempi värinälle, sillä heiluminen vääristää kuvaa pituussuunnassa. Viivakamera on myös synkronoitava tarkasti auton nopeuteen.

Kuvan laatua voidaan parantaa, vaikka pitäydettäisiinkin matriisikameroissa. Valaistuksen epätasaisuutta voidaan korjata laskennallisesti, ja kamerat voidaan kalibroida niin, että kuvien saumaton yhteen liittäminen onnistuu. Matriisikameroiden etuna on edullisuus sekä se, ettei niitä tarvitse tarkasti synkronoida auton nopeuteen. Jos kuvanottonopeus on riittävä, voidaan matriisikameralla ottaa kuvia niin, että pinta tulee kuvattua kahteen kertaan hieman eri kulmista. Tällä tekniikalla voidaan periaatteessa muodostaa pinnasta kolmiulotteinen kuva. Matriisikameran kuva-alueelle voidaan myös projisoida laserjuova, josta saadaan kolmiomittauksen avulla mitattua tien korkeusprofiili. Haittapuolena on laskennan lisääntyminen, mutta menetelmä mahdollistaisi APVM- ja PTM -mittausten yhdistämisen.

Tulevaisuudessa sovellus voisi suuresti hyötyä laskenta-alustoissa tapahtuvasta kehityksestä. Esimerkiksi eräs grafiikkaprosessorilla toteutettu kuvien rekisteröintisovellus pääsee 100Mpixel/s nopeuteen. Tämä riittää täysin reaaliaikaiseen panoraaman rakentamiseen 1 Mpixelin kuvista, joita syötetään 30 kpl/s.

6.3.2 Kuva-analyysi

Nykyinen menetelmä

Haastavat olosuhteet, ongelmat kuvan laadussa sekä tienpintojen erilaiset ominaisuudet tekevät kuvien analysoinnista vaikean ongelman. Tätä on pyritty ratkaisemaan käyttämällä analyysissä erilaisia parametreja erilaisille tiettyypeille. Analyysiin käytetään kuvankäsittelyn perusmenetelmiä, mutta niiden yhdistäminen ja parametointi on Rambollin liikesalaisuus. Kuva-analyysin tavoitteena on löytää tiestä vaurioituneet kohdat ja luoda tämän tiedon pohjalta "vaurioruudukko", joka kertoo, missä tien kohdissa on vaurioita. Vaurioiden luokittelu pohjautuu vaurioiden keskinäiseen sijaintiin vaurioruudukossa. Tällä perusteella voidaan esimerkiksi erottaa toisistaan pituus- ja poikkihalkeamat.

Ongelmia

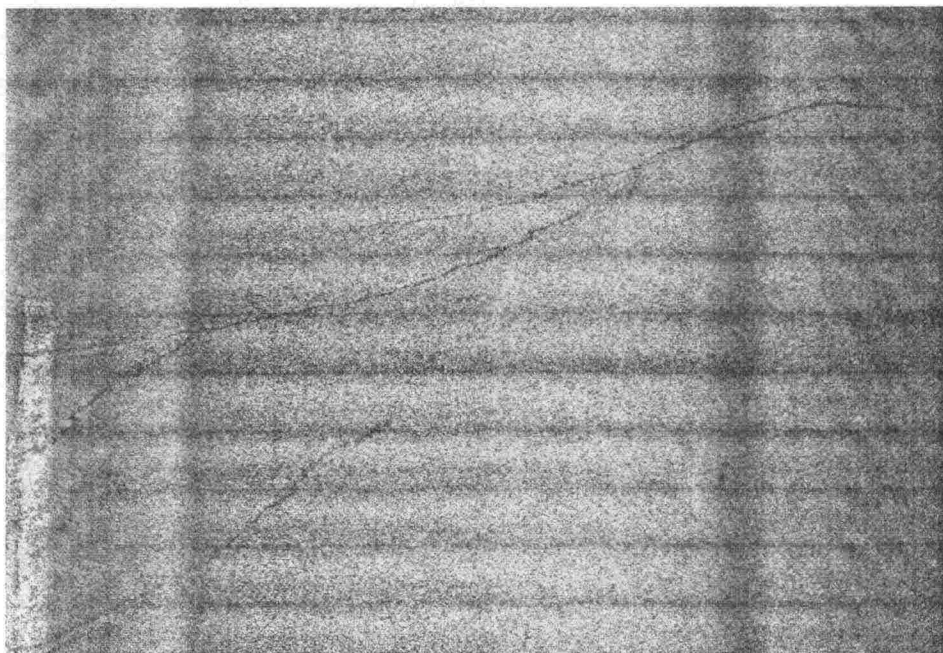
Nykyinen kuva-analyysimenetelmä analysoi jokaisen kuvan erikseen ennen niiden yhdistämistä suuremmaksi kokonaisuudeksi. Tämä onkin nykyisellään välttämätöntä, sillä yhdistämisessä tapahtuvat kohdistus- ja geometriavirheet sekä valotason äkilliset vaihtelut tekevät yhdistetyn kuvan analysoinnin erittäin vaikeaksi. Yksittäisten kuvien analysointi on kuitenkin ongelmallista, sillä esim. kuvan alueelle sattuva pieni pätkä halkeamaa on vaikea havaita. Sama pätee vaikkapa kaivojen kansiin, jotka ovat niin suuria, etteivät ne koskaan mahdu kokonaan yhteen kuvaan. Pienen palasen tunnistaminen on käytännössä mahdotonta.

Manuaalisesti valittujen parametrien käyttö erilaisille tielajeille on huolestuttavaa, sillä niiden muuttuessa voi lopputuloskin muuttua hyvin erilaiseksi. Sopivien parametrien etsiminen eri tielaaduille on työlästä, eikä parametroinnissa voida ottaa huomioon muuttuvia kuvaolosuhteita. Lisäksi parametointi altistaa automaattiseksi tarkoitetun kuva-analyysin subjektiivisille tulkinnoille.

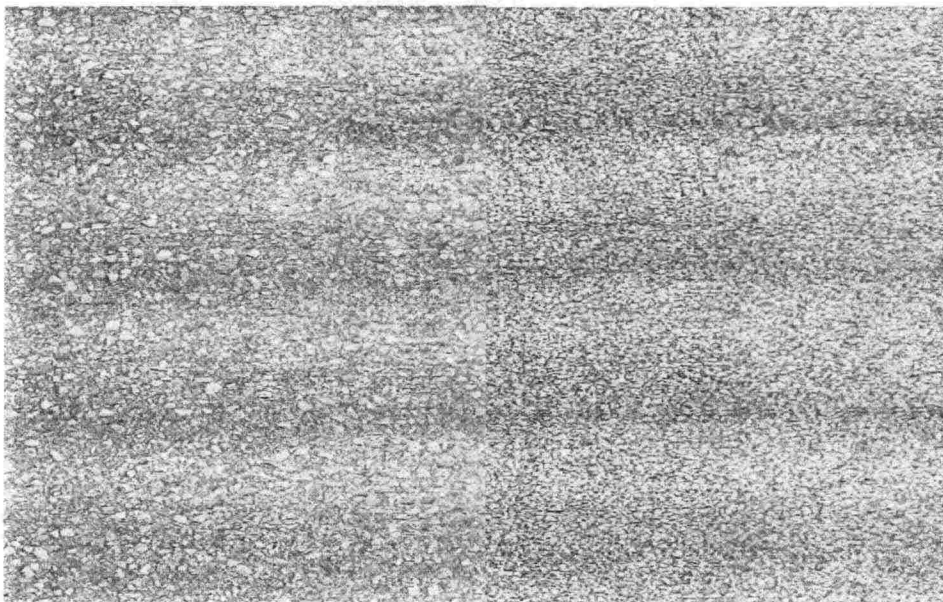
Koska parametrit ja niiden vaikutus kuvatulkinintaan ovat liikesalaisuuksia, on mahdotonta arvioida, kuinka suuri niiden merkitys lopulta on. Arvattavissa on, että parametrit sisältävät ainakin kynnsarvoja, joiden avulla normaalin tien pinnan harmaasävyt erotetaan vaurioiden harmaasävyistä.

Erot kuva-analyysin toiminnassa näkyvät selvästi arvioitavassa materiaalissa. Tiellä 140 ovat suuretkin halkeamat jääneet kokonaan huomaamatta, mutta menetelmä on kyllä löytänyt paljon purkaumaa, jota harjaantumattoman on todella vaikea havaita kuvasta silmämääräisesti. Tiellä 148 halkeamat ovat löytyneet hyvin, mutta purkaumalta näyttäviä vaurioita ei ole juurikaan havaittu. Kuvassa 21 on esitetty tyypillinen huomaamatta jäänyt halkeama tieltä 140. Kuvassa 22 on rinnakkain kaksi

kuva, joista vasemmanpuoleisesta analyysi ei ole löytänyt vaurioita. Oikeanpuoleisesta kuvasta vaurioita on löytynyt paljon.



Kuva 21. APVM -laitteistolta huomaamatta jäänyt halkeama.



Kuva 22. APVM -laitteiston luokituksen mukaan virheetöntä tien pintaa (vasen) ja hyvin vaurioitunutta pintaa (oikea).

Vaurioiden luokittelu tehdään vaurioruudukon perusteella. Vaurioruudukko on otettu käyttöön kompromissiratkaisuna. Ruudukkoa käytettäessä menetetään vauriotyyppien erottelutarkkuudessa, mutta toisaalta tärkeimmän vauriomuuttujan, vaurio-osuuden, laskenta yksinkertaistuu.

Käytännössä vaurioruudukkoon perustuva menetelmä on laajasti hyväksytty ja se on riittävän tarkka vaurio-osuuden laskennassa.

Vaurioiden luokittelun kannalta vaurioruudun käytössä on useita heikkouksia.

- Kaikki alle 10 cm x 10 cm -kokoiset viat luokitellaan samaan luokkaan.
- Lähekkäin olevat vauriot yhdistyvät, vaikka ne olisivatkin eri tyyppiä. Esimerkiksi vierekkäisiä reikiä tai virheellisesti havaittuja tiemerkintöjä ei enää ruudukotasolla voida erottaa halkeamista.
- Koska luokittelu tehdään yhdistämällä vikaruutuja eikä suoraan kuvainformaation perusteella, ei vaurion ulkonäkö voi vaikuttaa luokittelutulokseen. Vain muodolla on merkitystä.

Menetelmällä voinee erotella pituus- ja poikkihalkeamat, mikäli ne eivät liity muihin vaurioihin. Reunaviivan erottamien pituushalkeamasta tai remikserisauman avautumasta on erittäin vaikeaa, samoin keskiviivan erottaminen keskisauman halkeamasta, sillä nämä kaikki ovat suoria viivoja ja sijaitsevat samoissa kohdissa kaistaa. Ongelma näkyy selvästi analyysituloksissa varsinkin tiellä 148, jolla tiemerkinnät aiheuttavat jatkuvasti vauriomerkinnoja. Kokonaan luokittelematta jäävät ainakin vino- ja verkkohalkeamat sekä reiät.

Parannusehdotuksia

Kuvan sisältämän informaation määrään tai kohdistusvirheisiin ei jälkikäteen enää voida vaikuttaa, mutta kuvan laatua voidaan parantaa ohjelmallisesti tasoittamalla valaistusta. Tämä voisi auttaa analyysiä jonkin verran.

Kuva-analyysi on pyrittävä suunnittelemaan siten, ettei sen parametreja tarvitse muuttaa manuaalisesti tien tyyppin mukaan. Menetelmän tulisi valita sopivat parametrit automaattisesti. Muussa tapauksessa subjektiivisilla arvioilla on liian paljon vaikutusta lopputulokseen.

Vaurioiden havaitseminen pelkästään esim. reunanilmaisun tai kynnystämisen avulla ei riitä. Esimerkiksi purkauma on tyypillinen tien pinnan tekstuurissa esiintyvä ongelma, jota ei voi havaita yksittäisestä pikselistä tai edes vaurioruudusta. Tämän vuoksi vaurioiden löytämiseen ja löydösten luokitteluun tarvitaan yhdistelmää, jossa käytetään sekä reunanilmaisuu perustuvia menetelmiä että tekstuurianalyysiä. Vaurioiden luokittelussa on olennaista ottaa mukaan kuvan ulkonäkö. Olennaista olisi tehdä kuva-analyysi suuremmalta alueelta kuin yhdestä kamerakuvasta, sillä useimmat vauriotyypit eivät mahdu yhteen kuvaan, eikä niitä välttämättä edes voi havaita palasina.

Luokittelu on luontevinta hoitaa tilastollisen hahmontunnistuksen menetelmillä. Kokemuspohjaisiin sääntöihin perustuvat luokittelijat ovat erittäin vikaherkkiä ja käyttäytyvät arvaamattomasti muuttuvissa olosuhteissa. Tällaisia ovat esimerkiksi raja-arvot tunnistettujen vaurioiden suoruudelle. Sama koskee kuvan analysointia. Vaihtelevissa olosuhteissa ei sovi käyttää kiinteitä kynnysarvoja tai muuta sellaista mittaa, joka antaa eri tuloksen esim. valotason muuttuessa.

6.3.3 APVM-mittauksen ongelmia ja haasteita käyttäjän kannalta

Käytössä oleva APVM- mittaus tulkitsee epäluotettavasti hyvänlaatuisen, mutta karkean tien pinnan, joka tulkitaan usein vialliseksi. Erilaisia vauriotyyppejä ei asiantuntijoiden mukaan saada APVM-järjestelmästä ainakaan riittävällä tarkkuudella.

Hankesuunnittelussa olisi avuksi tietää vauriotyypit, sillä tiessä ilmenevä päällystevaurio voi johtua tien rakenteen heikkoudesta tai kuivatuksen puutteellisuudesta. Esimerkiksi verkkohalkeamasta haluttaisiin saada todellinen kuva sekä lajittumat ja purkautumat erotella.

Eri vuosina tehtyjen mittausten tulokset eivät ole täysin johdonmukaisia. Samoilta tieosuuksilta kahden vuoden välein tehtyjen mittausten mukaan tieosuuksien vaurio-osuudet ovat monesti jälkimmäisissä mittauksissa alhaisempia kuin aiemmissa mittauksissa, vaikka mitään korjaustoimenpiteitä ei ole tehty. Tämä viittaa siihen, että kuvankeräys ja tai kuvantulkinta on muuttunut eri vuosien välillä.

6.3.4 Mahdollisia ratkaisuja

Teiden vauriomittaus ja analyysi on haastava ongelma johtuen vaihtelevissa ja usein vaikeissa olosuhteissa tehtävistä kuvauksista sekä tiepäällysteen epähomogeenisesta rakenteesta ja luonnollisista tummuusvaihteluista. Perehtyminen mittausjärjestelmään ja sen teknisiin ratkaisuihin on paljastanut kuvanotossa ja kuvien analyysissä merkittäviä puutteita, joiden parantaminen vaatii määrätietoista ponnistelua.

Nykyiset vauriokuvat

Tällä hetkellä tiestöstä on kolmen vuoden aikana otettu runsas määrä vauriokuvia(noin 40000 km), jotka on tallennettu mahdollista lisäanalyysiä varten. Nämä kuvat on kyettävä niiden puutteellisesta teknisestä tasosta huolimatta analysoimaan riittävän tarkasti. Parempi vaurioiden havainnointi ja luokittelu edellyttävät nykyisten mittaustulosten analysointia ja mahdollisesti uusien kuvankäsittelymenetelmien käyttöönottoa kohdassa 6.3.2. esitettyjen parannusehdotusten mukaisesti.

Tulevat mittaukset

Tulevien vuosien kuvauksia varten on selvitetävä, voidaanko järjestelmää kohtuullisin ponnistuksin kehittää niin, että kuvaus ja kuva-analyysi ovat aiempaa paremmalla tasolla. Nykyisten videokameroiden korvaaminen viivakameralla ja valaistuksen korvaaminen viivavalolla on koettu ratkaisu mm. teollisuuden vianilmaisujärjestelmistä. Myös matriisikameralla voidaan päästä nykyistä parempaan kuvan laatuun kohdassa 6.3.1. esitettyjen parannusehdotusten mukaisesti.

Kuva-analyysiä suositellaan parannettavaksi kohdassa 6.3.2 esitettyjen parannusehdotusten mukaisesti.

Tulevaisuudessa täysin reaaliaikaisen analyysin toteuttaminen on mahdollista, jolloin järjestelmän mahdollisiin toiminta- ja tulkintaongelmiin voidaan puuttua välittömästi.

7 TIEMERKINTÖJEN KUNTOMITTAUS, TIKU

7.1 Mittauksen tarve ja tavoite

Tiemerkinnät ovat liikennemerkkien ohella oleellisia apuvälineitä ohjattaessa tienkäyttäjiä käyttämään heille tarkoitettuja ajokaistoja ja liikkumaan turvallisesta. Tiemerkinnät tehdään joko maalilla tai kestävämmällä kuumamassalla. yhtenäisenä viivana tien reunoille ja katkoviivana tien keskelle, sekä yhtenäisenä keltaisena viivana tien keskelle ilmoittamaan ohituskiellosta. Tiemerkintöjä käytetään myös erityisesti risteysalueille ja niiden läheisyydessä ilmoittamaan suojateistä, ryhmittymisistä eri kaistoille sekä nopeusrajoituksista.

Tiehallinnolla on ohjeet ja laatuvaatimukset määrittää millaisessa kunnossa tiemerkintöjen on oltava /60, 61/. Merkintöjen kuntotason on oltava riittävä turvallisen liikkumisen takaamiseksi Tiemerkintöjen tärkeitä ominaisuuksia oikeiden mittojen ja muotojen lisäksi ovat mm. tiemerkintöjen kuntotaso, paluuheijastavuus ja kitka-arvo.

Tiehallinnon tiemerkintäohjeissa on laatuvaatimukset uusien merkintöjen ulkonäölle ja näkyvyydelle. Merkintätyön jälkeen tarkastetaan mittaamalla, että merkinnät täyttävät asetetut laatuvaatimukset. Vanhoja tiemerkintöjä ei aina kannata kokonaan maalata tai massata uudelleen, vaan urakoitsija voi tehdä paikkauksia, kunhan merkinnät kokonaisuudessaan täyttävät vaatimukset. Paluuheijastavuuden mittaukseen on saatavissa useita kaupallisia mittalaitteita, joilla suure mitataan joko kannettavalla käsimittarilla tai liikenteen nopeudella liikkuvalla ajoneuvolla. Tiemerkintöjen kuntomittaus on tehty perinteisesti visuaalisella katselmuksella.

Katselmuksessa tiemerkinnän visuaalista ulkoasua verrataan Tiehallinnon ohjekuviin, joissa esitetään viisi eri kuntoisuusluokkaa (1 – 5). Arviointi tehdään säännöllisin välimatkein noin 1 – 5 km välein ja lopputulos on arvioijan subjektiivinen arvio tiemerkintöjen kunnosta. Tulokset vaihtelevat arvioijasta riippuen jonkin verran.

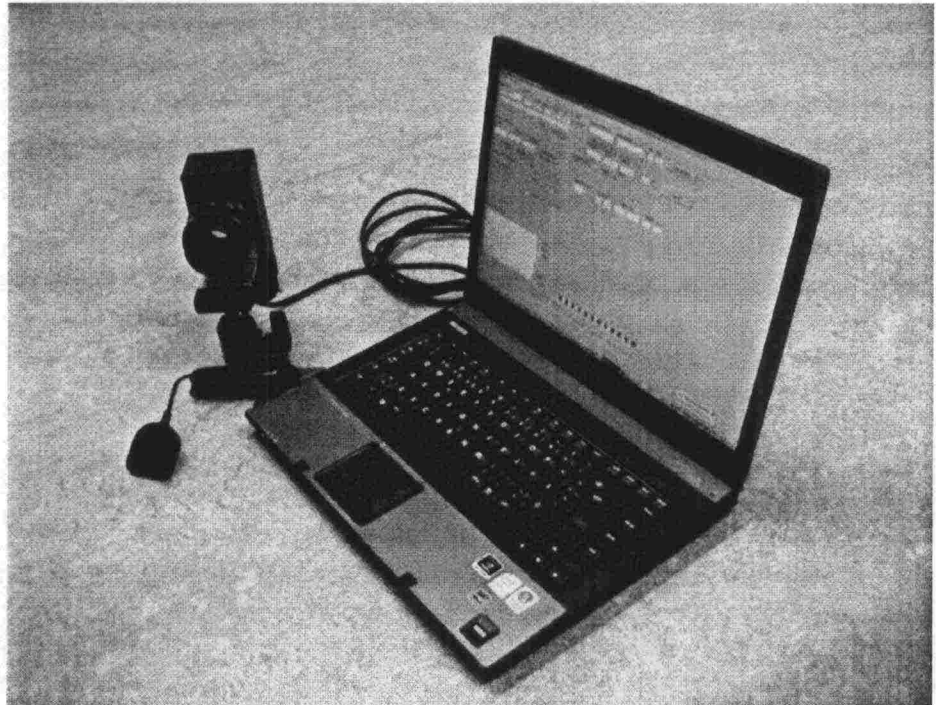
Kuntoarviointien tulosten vaihtelusta syntyi tarve kehittää automaattinen laite, joka mittaa tiemerkintöjen kuntoa tarkemmin ja objektiivisemmin kuin visuaalinen tarkastus. Automaattisella mittauksella voidaan korvata visuaalinen tarkastus. Tavoitteena on välttää erimielisyydet kunnan arvioinnissa ja ajan myötä hyödyntää laitetta täysimääräisesti mm. merkintämateriaalien optimaalisessa käytössä.

7.2 Ratkaisu

7.2.1 Tiku-laitteisto

- kamera
 - o kuvaus tuulilasin läpi
 - o kiinnitys auton kojelaudalle
 - o firewire-liityntä

- Pixelink-kamera
 - resoluutio 1 M pikseli
- kuvaus tapahtuu n. 10 metrin etäisyydeltä
- kuvausalue n. 1m leveä
- kannettava PC autossa
- ohjauspaneli
- paikannus GPS:llä 1 s. välein



Kuva 23. Tiemerkintöjen kuntomittauslaitteisto /59/

7.2.2 Ohjelmisto ja toiminnot

- kuvankäsittelyohjelmat
 - viivan löytäminen digitaalikuvasta
 - pinta-alavastaavuuden määrittäminen
- paikkatiedon yhdistäminen mittauksiin
- käyttöliittymä
 - näyttö ja näppäimistö
 - ohjauspaneli
- tiedon tallennus ja raportointi



Kuva 24. Kameran kuvasta tulkitaan merkinnän reunat ja ehjän merkinnän osuus /59/

Destian (aiemmin Tieliikelaitos) Tiemerkintäpalveluissa on kehitetty konenäköön perustuva Tiku -laitteisto tiemerkintöjen kuntotason mittaukseen. Mittausmenetelmä perustuu digitaalikuvaukseen ja reaaliaikaiseen kuvatulintaan. Liikkuvaan ajoneuvoon sijoitettu digitaalikamera kuvaa tiemerkintää ja kannettava tietokone laskee kuvasta tunnistetun tiemerkinnän ominaisuustiedot sadan metrin osuiksittain. GPS-paikannin huolehtii laitteiston paikannuksesta ja matkamittauksesta.

Ajoneuvon sisälle kojelautaan asennettava kuvauslaitteisto mittaa tiemerkinnän jäljellä olevan pinta-alaosuuden prosentteina sekä merkinnän leveyden. Se tunnistaa myös keskilinjaa mitattaessa merkinnän värin. Laitteistolla voidaan myös kuvata tiemerkintä tarvittaessa tai halutun välimatkan välein. Mittaustiedot tallennetaan tietokantaan raportointia ja myöhempää tarkastelua varten.

Tiku -laitteistolla saaduista mittaustuloksista voidaan tulostaa halutut raportit valitusta tiemerkintäurakasta, tiestä tai vain tieosasta. Raportointiohjelmalla saa tulostettua koosteraportteja, joissa esitetään kohteen keskiarvotettu kuntoluokka sekä laadun alitusten lukumäärät niin pituuksina kuin kappalemäärinä. Mittaustiedot voidaan myös siirtää jatkokäsittelyä varten taulukkolaskentaohjelmaan ja siitä edelleen paikkatieto-ohjelmaan, jolloin mittaustiedot voidaan esittää havainnollisesti kartalla.

Liikennevirran mukana ajoneuvosta käsin tapahtuva kuntomittaus on turvallinen tapa mitata tiemerkintöjä. Tiku -laitteiston mittaushjelmisto ohjeistaa kuljettajaa äänimerkein, jolloin kuljettaja voi pitää katseensa koko

ajan tiessä. Tärkeimmät toiminnot on tuotu pikanäppäinten taakse lähelle kuljettajaa. Mittaus voidaan näin suorittaa yhden henkilön voimin. Mittaajalla on kuitenkin oltava tehtävään hyvä asiantuntemus, koulutus ja kokemus.

Laitteiston suurimpana etuna on, että siinä mittaajan vaikutus mittaustulokseen on eliminoitu edellyttäen, että mittaus tehdään ohjeiden mukaisesti. Mittaustulos on koneen näkemys kuntotasosta, eikä siihen vaikuta väsymys tai muut inhimilliset tekijät.

7.3 Käyttökokemukset, puutteet ja ongelmat

Tiku-järjestelmä on kehitetty pitkän ajan kuluessa, jolloin on kerätty paljon kokemuseräistä tietoa tiemerkintöjen kunnon mittaamiseen liittyvistä käytännön kysymyksistä. Järjestelmää on testattu monipuolisesti ja tehty vertailevia tutkimuksia perinteisen visuaalisen arvioinnin ja Tikun tulosten välillä. Järjestelmä on hyväksytty Tiehallinnon käyttöön. Tiku on ainoa toteutettu tiemerkintöjen kuntomittauslaitteisto ja Destia on palvelun ainoa kaupallinen tarjoaja, joka tarjoaa mittauspalveluita myös muille tiemerkintäurakoitsijoille. Menetelmää käytetään toistaiseksi vain Suomessa.

Käyttöönotossa ja alkukäytössä on havaittu mm. seuraavia ongelmia:

Tiku-mittauksen hyväksymisestä ei kehittämisvaiheessa määritelty hyväksymiskriteerejä, mistä johtuen laitteen hyväksyntä viralliseen käyttöön viivästyi.

Mittausolosuhteet vaikuttavat tulokseen joissain tilanteessa, vaikka olosuhteiden vaikutusta on pyritty minimoimaan. Sadesää, sumu ja kosteus sekä erityisesti tielle kertyvät vesilammikot vaikeuttavat luotettavaa mittausta. Pieni tien mäkisyys ja mutkaisuus ei vaikuta tuloksiin.

Kuntomittaus ja paluuheijastavuusmittaus eivät välttämättä korreloi keskenään. Joiltain tahoilta on esitetty kysymys kuntomittauksen tarpeellisuudesta, koska tärkeimpänä ominaisuutena tiemerkinnöille pidetään paluuheijastavuutta. Tärisevien merkintöjen ja kampakuvioiden kuntomittaukset ovat ongelmallisia.

Tiku-mittauksen vastaanotto ja käyttö ovat eri tiepiireissä vaihtelevia ja mittausten hyödyntäminen vajavaista. Joissain tiepiireissä kuntomittausta käytetään inventoinnin työvälineenä ja se koetaan hyödylliseksi. Toisissa tiepiireissä laitteen käyttöä pidetään vain ylimääräisenä kustannuksena

7.4 Saavutetut ja tavoiteltavat hyödyt

Tiku-mittauksen tärkeimpänä tavoitteena on eliminoida kuntoarvioiden riippuvuus tekijästä, mikä on visuaalisen kuntoarvion merkittävä ongelma. Tiku-mittauksella tiemerkinnöistä saadaan paljon enemmän, tarkempaa ja luotettavampaa kuntotietoa kuin visuaalisella mittauksella

Mittaus on kalliimpi kuin silmämääräinen arviointi, mutta samalla se tarjoaa mahdollisuuden vanhoja tiemerkintöjen korjaamiseen sen sijaan, että

tehdään kokonaan uusi merkintä. Esimerkiksi kaarteissa voi olla mielekästä tehdä korjauksia 100 – 200 metrin pätkissä.

Tiku-mittaus tarjoaa merkittävän hyötypotentiaalin merkintämassan ja -maalien käytön optimoinnissa

- kaikkiaan tiemerkintöjen tekeminen ja korjaukset maksavat Suomessa n. 20 M€ vuodessa (mukaan lukien kaupungit ja kunnat, Tiehallinnon osuus on noin 13 M€)
- massamerkinnoissä n.50% kustannuksista on materiaalia
- maalimerkinnoissä n.35% kustannuksista on materiaalia
- massan ja maalin osuus on noin 40 – 45 % kokonaiskustannuksista, eli materiaalin "myyntihinta" on n. 8 – 9 M€
- TIKU:n avulla voidaan inventoida keväällä tiemerkinnät ja tunnistaa huonot 100 m pätkät
- merkintäviivan kunnon tarkistuksen hinta TIKU-laitteistolla on 5 €/viivakilometri
- tiemerkinnän hinta on 4 – 11 €/m² (400 – 1100 €/viivakilometri, 10 cm leveä viiva) riippuen siitä, onko merkintäaine maali vai massa, joten mittaus on halpa toimenpide merkintään verrattuna (0,5 – 1 %)

Tiku-mittauksella voidaan merkittävästi vaikuttaa maali- ja massamateriaalin, eli 8-9 M€:n, optimaaliseen käyttöön joko siten, että materiaalikustannuksia säästetään tai samalla materiaalimäärällä hoidetaan suurempi tieosuus.

7.5 Tiemerkintöjen kuntomittauksen hyödyntämismahdollisuudet

Tiemerkintöjen kuntomittauksesta on käytännön kokemusta vasta lyhyeltä ajalta. Keskeisinä vaikeuksina ja puutteina voidaan pitää laitteen käytön vaatimaa kokemusta ja osaamista sekä Destian roolia mittauspalvelun ainoana tarjoajana. Laitte mittaa tiemerkintöjen kuntoa hyvin, eikä vähäisestä kokemuksesta johtuen ole välitöntä tarvetta mittauslaitteiston, -ohjelmiston tai -menetelmien kehittämiseen. Ottaen huomioon laitteen merkittävä hyötypotentiaali, esitetään seuraavassa laitteen mahdollisia tehokkaita käyttötapoja ja uusia kehitysajatuksia.

7.5.1 Merkintämateriaalien käytön optimointi

Nykykäytössä Tiku-laitteella voidaan mitata erillisellä ajolla tiemerkintäviivan laatu ja käyttää mittaustietoja paikkatiedon avulla hyväksi maalauksen optimointiin. Käyttöä voitaisiin mahdollisesti vielä tehostaa asentamalla keväällä hiekanlakaisajoneuvoon merkintöjen kuntomittari ja keräämällä kuntotiedot maalausurakkaa varten talteen. Tiku-mittari voitaisiin mahdollisesti asentaa maalausajoneuvoon ja maalaussuuttimia voitaisiin ohjata mittaus tuloksen perusteella. (vrt. ranskalaisten tutkimus automaattisesta maalauskoneesta)

7.5.2 Paluuheijastavuuden ja kuntomittauksen yhdistäminen

Yhdistämällä paluuheijastavuus ja kuntomittaus samaan ajoneuvoon saataisiin yhdellä mittausajolla kerättyä enemmän tietoa kuin tekemällä mittaukset erikseen. Samalla voitaisiin varmistaa, että merkinnät ovat sekä

kunniltaan hyviä, että paluuheijastavuudeltaan vaatimukset täyttäviä. Mittaukset voidaan yhdistää jopa samaan laitteistoon. Yhdistäminen vaatisi vielä tuotekehitystä ennen kuin kaupallinen sovellus olisi käytettävissä. Tuotekehitys ei ole meneillään.

Toinen mahdollisuus on ottaa kaupallinen paluuheijastavuusmittaus sekä Tiku-mittaus ja yhdistää ne tehtäväksi samalla ajoneuvolla. Haasteeksi mittaajalle tulee kahden erilaisen mittauksen samanaikainen käyttö. Mittaukset voidaan liittää yhteen tietokoneeseen tai tietoja voidaan yhdistellä Tierekisterin kautta.

7.5.3 Muita mahdollisuuksia

Tiemerkintöjen kestävyyttä voidaan oppia ennustamaan mittaamalla samalta tieosuudelta merkintäviivat peräkkäisinä vuosina kerran tai kaksi kertaa vuodessa sekä seuraamalla kunnon ja paluuheijastavuuden muutoksia. Yhdistämällä tiemerkintöjen mittaustiedot sää- ja liikennemäärätietoihin sekä tien muoto- ja rakennetietoihin, voidaan selvittää näiden tekijöiden vaikutusta tiemerkintöjen uusimis- ja korjaustarpeisiin.

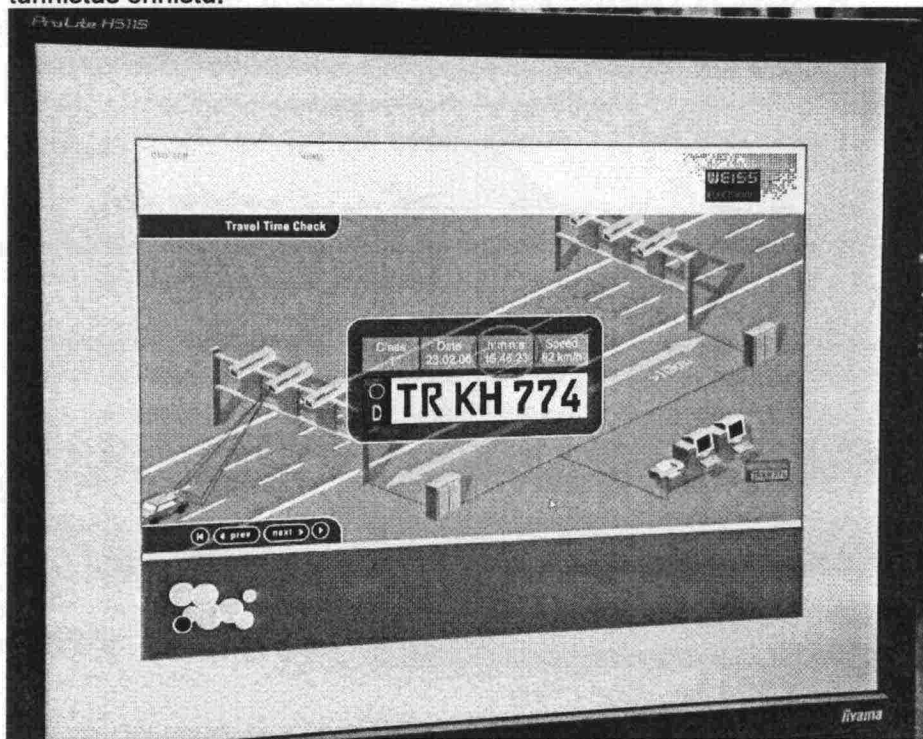
8 MUITA INFRA-ALAN SOVELLUKSIA

8.1 Rekisterikilpien tunnistus

Rekisteri- ja muiden tunnuskielien tunnistus on yksi vanhimmista ja koetuimmista konenäön käyttökohteista infra-alalla /66 – 69/. Tavoitteena on ajoneuvon yksikäsitteinen tunnistaminen moniin eri tarkoituksiin. Tyypillisiä sovelluksia ovat porteilla ja rajoilla tapahtuva ajoneuvojen tunnistus ja liikenteen valvonta sekä satamissa tapahtuva konttien seuranta. Rekisterikilpien tunnistusta käytetään myös nopeusvalvontojen yhteydessä, joissa esim. laser- tai tutkatekniikkaan perustuvalla laitteella laukaistaan kamera ylinopeutta ajavan ajoneuvon ohittaessa kuvauspiste. Myös matka-aikaseurannassa käytetään rekisterinumerotunnistusta mitattaessa ajoneuvojen keskinopeutta kahden mittauspisteen välillä.

Rekisterikilpien tunnistusjärjestelmä on tyypillinen konenäköjärjestelmä, jonka tärkeimmät osat ovat kohteen kuvaus ja valaisulaitteet sekä kuvankäsittelyohjelmistot. Kamera voi olla joko näkyvän valon alueella toimiva tai infrapunakamera, jolla voidaan helpottaa mm. likaisuuden ja huonon valaistuksen aiheuttamia ongelmia. Rekisterikilven merkkien tunnistus on tyypillinen hahmontunnistusongelma, johon kuvankäsittelyohjelmia on kehitetty runsaasti tutkimuslaitoksissa sekä alalla toimivien yritysten kehitysosastoilla.

Rekisterikilpien tunnistus ei koskaan onnistu aivan täydellisellä varmuudella, sillä käytännössä kilvet voivat olla vioittuneita tai likaisia. Lisäksi pimeydestä ja säästä johtuvat kuvaolosuhteet voivat olla niin vaikeita, ettei 100 % tunnistus onnistu.



Kuva 25. Kamerat ajokaistan yläpuolella tunnistavat rekisteritunnuksen/92/

8.2 Konenäkö ajoneuvoissa

Konenäköä käytetään joko yksin tai yhdessä muiden tekniikoiden kanssa ajoneuvoissa helpottamaan kuljettajan työtä ja parantamaan liikenneturvallisuutta /70-80/.Jotkut autovalmistajat kehittävät ajoa helpottavia apuvälineitä, mutta joillakin on perimmäisenä tavoitteena kehittää itsenäisesti liikkuva ajoneuvo ilman kuljettajaa. Ajoneuvoihin kehitetyillä sovelluksilla on potentiaalisesti suuri määrä käyttäjiä, joten niiden kehittämiseen on käytettävissä runsaasti resursseja.

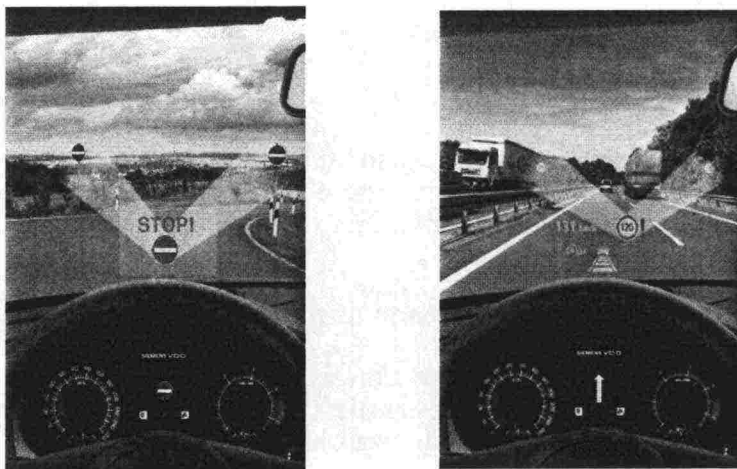
8.2.1 Liikennemerkkien tunnistus

Liikennemerkkien tunnistus kamerakuvasta liikkuvasta ajoneuvosta on hyvin kiinnostava ja merkittävä sovellusalue. Mikäli sovellus saadaan riittävän edulliseksi, on se potentiaalinen sovellus moniin tulevaisuuden autoihin. Tunnistamalla viimeisin liikennemerkki voidaan ajajaa varoittaa ylinopeudesta tai jopa automaattisesti rajoittaa auton vauhti rajoituksen mukaiseksi ja siten lisätä ajoturvallisuutta sekä vähentää ylinopeussakkoja. Tällaisen sovelluksen liiketoimintapotentiaali on erittäin suuri.

Esimerkki liikennemerkkien tunnistuksesta mainittakoon Opel Eye, joka ottaa 30 kuvaa sekunnissa ja tunnistaa liikennemerkit noin. 100 metrin etäisyydeltä. Järjestelmän toimintoja ovat myös liikennemerkkien priorisointi ja kaistan ylityksen valvonta..

Autoon on tehtaalla tai jälkikäteen asennettu kiinteä tai liikuteltava kamera, joka kuvaa auton edessä olevaa tienäkymää. Kuvista erotetaan hahmontunnistusmenetelmillä liikennemerkkit ja niiden tyypit. Kuljettajaa varoitetaan kojelaudassa olevalla visuaalisella merkillä ja/tai äänisignaaliilla. Kamera voi olla asennettuna myös navigaattoriin (esim. Blaupunkt TP 700 /73/)

Kokemukset ovat toistaiseksi lyhytaikaisia, mutta joihinkin sarjatuotannossa oleviin autoihin järjestelmä on saatavissa (esim. Opel Insignia /71/). Kameran kuvaamiseen liittyy sääolosuhteiden, liikennemerkkien huonon kunnon, likaisuuden tai osittaisen peittymisen aiheuttamia tunnistusongelmia, minkä takia kuljettaja ei voi ajaa pelkästään tällaisten apuvälineiden varassa.



Kuva 26. Liikennemerkkien tunnistus autosta

Liikennemerkkien tunnistuksesta tulee vähin erin autojen vakiovaruste, ml. tarvittavat kameraratkaisut, joita voidaan hyödyntää myös pysäköintiautomaateissa. Mahdollisissa tienpidon sovelluksissa on syytä pohtia, miten voidaan parhaiten hyödyntää muilta tahoilta vääjäämättä tulevia ratkaisuja.

8.2.2 Muita ajoneuvojen konenäkösovelluksia

Useimmissa konenäkösovelluksissa kamera suunnataan auton ulkopuolelle ja havaintojen perusteella joko hälytetään kuljettaja tai ohjataan ajoneuvoa automaattisesti esimerkiksi vaaratilanteen välttämiseksi. Kameroita voidaan käyttää myös auton sisällä tarkastelemaan ajajan käyttäytymistä tai väsymistä /77/.

Tyypillisiä sovelluksia liikennemerkkien tunnistuksen lisäksi ovat mm. kaistavahdit (Citroen), älyvalot (Opel Insignia), adaptiiviset vakionopeussäätäjät, törmäyksenestojärjestelmät, sekä autojen auton pysäköinnin puoliautomaattinen apujärjestelmä ja täysin ajajasta riippumaton pysäköintijärjestelmä. Monet sovellukset perustuvat kokonaan konenäköön mutta osassa konenäköä käytetään yhdessä muiden tekniikoiden kanssa. /70 – 80/

Hirvivaroitimet perustuvat infrapunakameroihin, jotka on sijoitettu auton molemmille puolille. Luksusautojen erikoisempia konenäkösovelluksia edustavat mm. kuljettajan häikäisyn esto (Jaguar). Tässä sovelluksessa ajajan pään vieressä on kamera, joka imitoi ajajaa ja saa suunnilleen saman määrän valoa kuin kuljettajan silmät. Valon olleessa häikäisevän kirkas, tuulilasias himmennetään. Toinen esimerkki on jousituksen ohjaus (Daimler), jossa kamera tarkastelee tien pintaa ja etsii reikiä ja epätasaisuuksia tiestä. Sovellus käyttää 3D-tekniikkaa ja ohjaa tietojen perusteella autojen jousitusta.

Liian pitkälle vietyjen apuvälineiden käytöstä on ristiriitaisia käsityksiä ja niiden epäillään tuudittavan kuljettajan liialliseen turvallisuuden tunteeseen ja jopa heikentävän ajotaitoa.

Käyttökokemuksia ajoa helpottavien apuneuvojen hyödyllisyydestä ja käyttökelpoisuudesta kerätään systemaattisesta. Mm. Hollannissa on toteutettu laaja ohjelma (The Assisted Driver), jonka tavoitteena oli kerätä palautetta käyttäjiltä sekä tutkia apuvälineiden todellista vaikutusta turvallisuuteen ja ajomukavuuteen./70/

Euroopan laajuisesti on meneillään EU-rahoitteisia mittavia hankkeita erilaisten ajoa helpottavien apulaitteiden, mukaan lukien konenäköön perustuvat laitteet, käytön ja vaikutuksen tutkimiseksi. TeleFOT-hankkeessa tutkitaan VTT:n johdolla liikuteltavien ja jälkiasennettavien laitteiden vaikutuksia ja EUROFOT-hankkeessa tutkitaan Fordin johdolla tehtäällä ajoneuvoihin asennettavien laitteiden vaikutuksia.

8.3 Kamerajärjestelmät

Liikenteen valvontaan ja tienkäyttäjien palveluun on olemassa monia tarkoituksiinsa erikoistuneita kamerajärjestelmiä. /81 – 101/ Niiden käyttö rajoittuu tällä hetkellä pääosin tiedonkeruuseen ja informaation välittämiseen sitä etsiville. Kamerajärjestelmät tarjoavat mahdollisuuden myös kuvallisen informaation automaattiseen hyödyntämiseen, mikäli järjestelmiä täydennetään sopivilla ohjelmistoilla. Esimerkiksi kelikameroita voidaan tietyllä tarkkuudella käyttää liikennelaskentaan.

Käytössä olevia kamerajärjestelmiä ovat ainakin seuraavat:

- nopeuden tarkkailukamerat
- sää- ja tiepalveluasemien kelikamerat
- liikenteen sujuvuuden valvonta
- matka-aikaseuranta
- liikevalvonnat kriittisten paikkojen valvomiseksi (esim. levähdysalueet)

Uusimpia käyttöön tulevia kamerajärjestelmiä ovat Helsinki-Turku moottoritien tunneleihin tulevat häiriönhavaitsemisjärjestelmät.

8.3.1 Matka-aikaseuranta

Viimeisin ja edistynein kamerajärjestelmä on hiljattain asennettu matka-aikaseurannan kameraverkko./86-89/. Järjestelmän avulla voidaan ajoneuvot tunnistaa rekisteritunnuksen perusteella niiden ohittaessa kamerapisteen. Ajoneuvon tullessa seuraavaan tarkkailupisteeseen se identifioidaan uudelleen ja järjestelmä laskee keskimääräisen ajonopeuden pisteiden välillä. Järjestelmä kerää valtavan määrän informaatiota, jota hyödynnetään ensi vaiheessa keskimääräisten liikennenopeuksien ja liikenteen sujuvuuden seurantaan. Tiehallinto on pitkäaikaisella sopimuksella hankkinut matka-aikatiedot käyttöönsä. Matka-aikojen keruujärjestelmä on osa Tiehallinnon Digitraffic-tietopankkia, joka on tarkoitettu kaikille halukkaille tieliikenteen palvelujen kehittäjille.

Järjestelmän kuvauspisteitä on kaikkiaan n. 200 eri puolilla Suomea ja yhteensä n. 3200 km tieverkkoa on katettu. Kuvauspisteiden etäisyys toisistaan on kaupunkialueilla n. 3-5 km ja harvaan liikennöidyillä teillä n. 20 – 40 km.

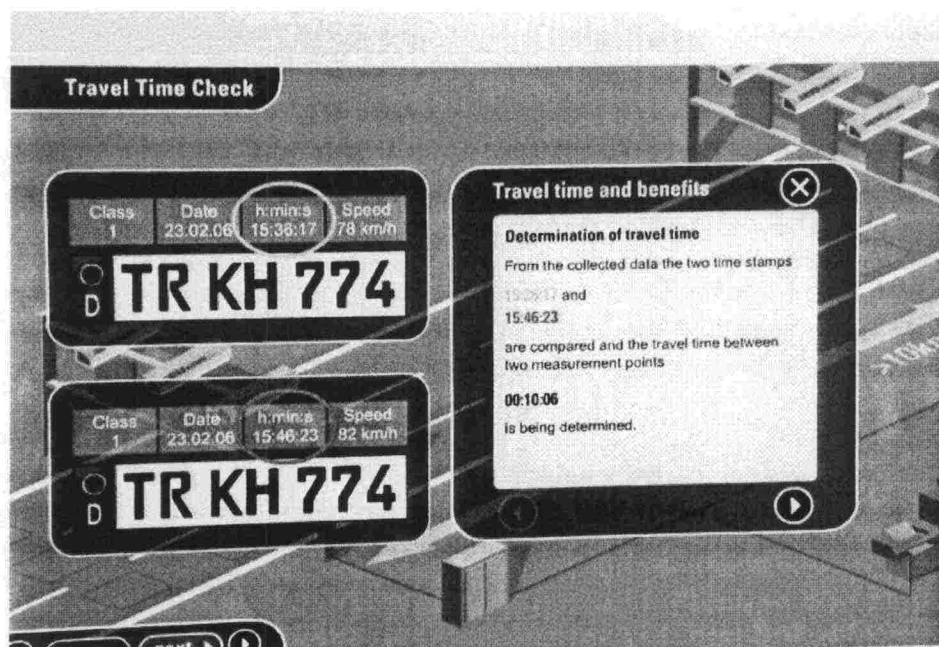
Kaikkien kuvauspisteiden yksiköt ovat keskenään identtisiä käsittäen digitaalisen kameran, tietokoneen, massamuistin ja langattoman yhteyden keskustietokonejärjestelmään. Kamera kuvaa ajoneuvon eturekisterikilpeä ja se toimii ensisijassa infrapuna-alueella mm. likaantumisongelmien välttämiseksi. Käyttö myös näkyvän valon alueella on mahdollista suodatinvalinnan avulla. Kameran kuvaustaajuus on 30 kuvaa/s. Tietokone on sijoitettu sääolosuhteet kestäväään koteloon (-50 C° - +40 C°).

Kuvatun tiedon analysointi tehdään paikallisesti. Tiehallinnolle toimitetaan etäyhteyden kautta linkkien väliset ajoneuvojen matka-ajat 5 min mediaaneina ja yksittäisten ajoneuvojen matka-ajat anonyymisti. Järjestelmä muodostaa ja laskee näistä linkkikohtaisista erillistiedoista tilastotietoja ja muuta jalostettua tietoa.

Rekisterinumeroiden tunnistus tehdään likaantumisen takia infrapuna-alueen aallonpituudella. Järjestelmän toimivuus ei edellytä rekisterinumeron täydellistä tunnistusta, kunhan rekisterinumero on riittävän yksikäsitteisesti tunnistettavissa seuraavissa tarkastuspisteissä. Haluttaessa yksityiskohtainen erittely ja tunnistus ovat teknisesti mahdollisia, mutta lainsäädännön takia käyttö on sallittua vain viranomaisille.

Järjestelmän tekninen toteuttaja on ARS Hollannista (www.ars.nl /85/)). ARS:in järjestelmä on alun perin kehitetty Hollannin postin tarpeisiin ja järjestelmä on käytössä mm. Hollannissa, Englannissa, Kiinassa ja Suomessa. Kilpaileva tekniikka on matkapuhelimien tukiasemiin perustuva menetelmä, joka on kuitenkin tähän tarkoitukseen liian epätarkka.

Matka-aikaseurannan järjestelmä tarjoaa mahdollisia monille uusille sovelluksille, sillä järjestelmällä on mahdollista mitata monenlaisia tietoja kuten ajoneuvojen liikennemäärät, eri tyyppien luokittelut ja nopeudet. Mielenkiintoinen sovellus voisi olla rekkajonojen seuranta ja rekkajonojen ennakointi.



Kuva 27.. Matka-aikaseuranta perustuu rekisterinumeron tunnistukseen ja ohitusajan tallennukseen kahdessa tarkastuspisteessä /92/

8.3.2 Levähdysalueiden valvonta

Digitaaliseen tarkkuusvideokameraan perustuvaa kriittisten paikkojen valvontaa voidaan soveltaa myös pysähdyspaikkojen valvontaan. /95/

Kamera voi olla resoluutioltaan 5 Mpikseliä ja sitä käytetään yleensä näkyvän valon aaltopituudella. Myös infrapunakameran käyttö on mahdollista. Kuvasta voidaan tunnistaa henkilöt ja erottaa päivänvalossa paikallaan olevan auton rekisterinumeron n. 100 m etäisyydeltä.

Videokamera kuvaa jatkuvasti ja kuvasta voidaan rajata tarkasteltava alue. Kamerassa oleva ohjelmisto tunnistaa esim. liikkeen ja ottaa yksittäiskuva. Yksittäiskuva lähetetään etäyhteyden (GRPS, EDGE tai 3G) kautta serverille, jossa tapahtuu kuvien analysointi. Käyttöliittymä on internetin kautta.

8.3.3 Moottoritien tunnelien kamerajärjestelmät

Turku -Helsinki moottoritiellä välillä Muurla-Lohja on seitsemän kaksoistunnelia. Tieosuuden telematiikan, sähköjakelun, turvallisuusjärjestelmien sekä automaation toimitus on kaikkien aikojen suurin telematiikkahanke Suomessa. Se sisältää muuttuvat nopeusrajoitukset ja varoitusmerkit, kaistaopasteet, liikenteen ja kelinseurannan, tunneleiden häiriöhavaitsemisen, tiedonsiirron sekä tarvittavat puomit. /95 – 99/

Moottoritien telematiikkajärjestelmä kerää tietoa tien liikenne- ja keliolosuhteista. Järjestelmän avulla voidaan antaa tarkkoja

liikennetiedotteita, ohjata liikennettä ja hallita mahdolliset häiriötilanteet turvallisesti ja tehokkaasti. Osana kokonaisjärjestelmää on Siemensin toimittama häiriönhavaitsemisjärjestelmä, joka välittää tiedon esimerkiksi pysähtyneestä ajoneuvosta Tiehallinnon valvontakeskuksiin.

Yli kaksi kilometriä pitkä Karnaisten tunneli on E18:n tunneleista pituusyksikköä kohden kallein turvallisuutta varmistavan häiriönhavaitsemisjärjestelmän vuoksi. Järjestelmän ydin koostuu 70-80 metrin välein asennettavista automaattisista valvontakameroista ja kuvaa tulkitsevasta ohjelmistosta. Tulkintainformaatio välittyy hälytyksenä Turun liikennekeskukseen

8.4 Tieliikennelaskennat

Tieliikennelaskentojen tarkoitus on liikennemäärien ja – suoritteiden mittaaminen, liikenteen vaihteluiden selvittäminen ja liikennesuunnittelutietojen kerääminen, Yleisin liikennelaskennan tekniikka perustuu maahan upotettuihin induktiosilmukoihin. Muita pistekohtaisia liikenteen laskentamenetelmiä ovat mikroaaltotekniikkaan perustuvat tutkat sekä infrapunailmaisimet. Laskentalaitteet ovat joko kiinteästi asennettuja tai siirrettäviä. Laskentaa tehdään myös ihmisvoimin.

Kamerapohjainen rekisterinumeron tunnistukseen perustuva matka-aikaseuranta on tieosakohtaista liikenteen seurantaa. Tieosakohtainen liikenneseuranta voi perustua myös matkapuhelinpaikannukseen ja tietullijärjestelmiin.

Viimeaikaiset konenäkösovellukset ja teiden varsiin sijoitettavat kamerat mahdollistavat myös pistekohtaiset liikennelaskennat kameratekniikkaan perustuen. Kameroiden etu on mm. helppo asennettavuus ja riippumattomuus päällystetöistä. Kameroilla voidaan liikennemääriä laskea tarkasti myös paikoissa, joihin ei voida asentaa induktiosilmukoita. Myös olemassa olevia kamerajärjestelmiä voidaan hyödyntää. Esimerkiksi kelikameroista voidaan saada liikennetietoja tilastollisella tarkkuudella.



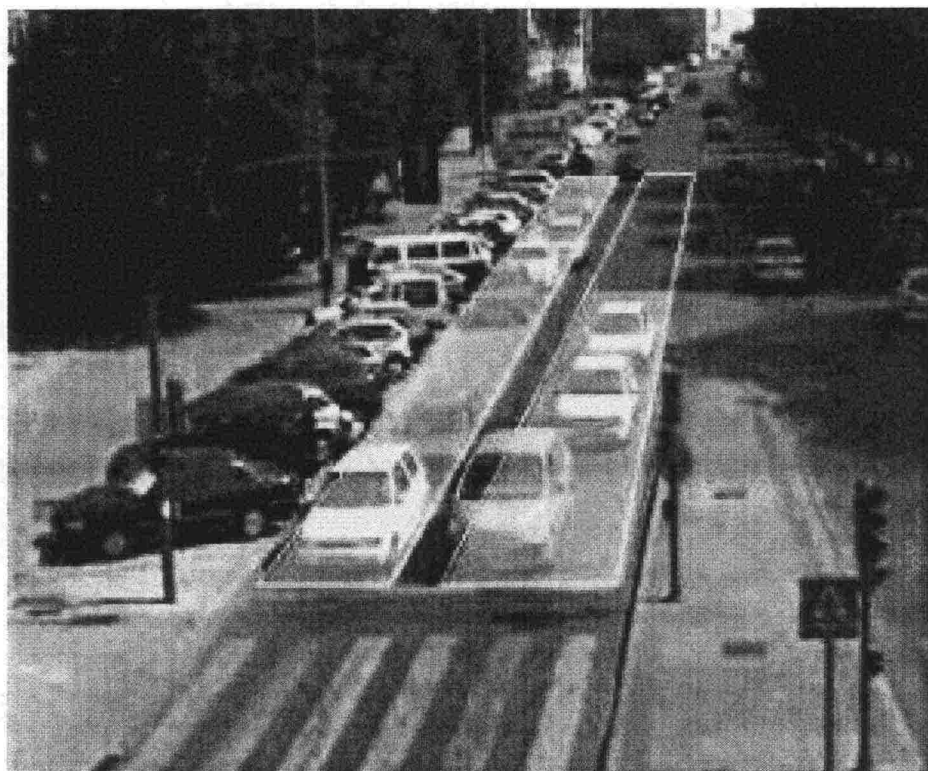
Kuva 28. Kamerakuvasta voidaan rajata alue, josta ajoneuvoja lasketaan

8.5 Liikennevaloristeyksien ohjaus

Liikennevaloristeyksien ohjaus tapahtuu yksinkertaisimmillaan erillisohjauksena, jolloin liikennevalojen toimintaa ei ole kytketty muiden liikennevalojen toimintaan. Monimutkaisemmassa tapauksessa liittymät on kytketty yhteen, linkitetty tai ohjattu alueellisesti, jolloin liittymän liikennevalojen toiminta ajoitetaan viereisten tai lähialueen muiden liittymien liikennevalojen toimintaan sopivaksi. Liikennevalojen ohjaus voi olla aikaohjattua, jolloin liikennevalojen ohjaus ei riipu liittymässä olevasta ja sinne tulevasta liikenteestä tai ohjaus voi riippua liikenteestä.

Liikennetieto-ohjatuissa liikennevaloissa valojen toimintaa säädetään jatkuvasti liittymässä olevan ja sinne saapumassa olevan liikenteen mukaan. Liittymien liikennettä havaitaan liikenneilmaisimilla. Liikenneilmaisimet voivat perustua eri tekniikoihin, kuten induktiivisiin silmukoihin, tutkiin, infrapunatunnistimiin ja videotunnistukseen.

Videotunnistus on vaihtoehtoinen tai täydentävä menetelmä liikenteen havaitsemiseen ja se perustuu reaaliaikaiseen videokuvan analysoimiseen. Kuva-analysointi mahdollistaa laaja-alueisen tunnistuksen, joka on käyttökelpoinen ajoneuvotunnistukseen risteyssovelluksissa sekä teiden ja tunnelien tapahtumien havaitsemiseen. Videotunnistus antaa myös mahdollisuuden lähettää liikennetilannekuvia risteyksestä. /102 - 111/



Kuva 29. VISIOWAY OPENCOUNTER liikenteen videotunnistusjärjestelmä /108/

9 TEIDEN YLLÄPIDON JA HOIDON MAHDOLLISET SOVELLUKSET

Konenäön uusien tarpeiden ja soveltamismahdollisuuksien selvittämiseksi haastateltiin projektin aluksi Tiehallinnon asiantuntijaverkkoja. Tiimerkintöjen kehittämisryhmän, Hoidon asiantuntijaverkon ja Ylläpidon hankintojen asiantuntijaverkkojen sekä Siltainsinöörien verkon kokouksissa järjestettiin konenäköesittelyt. Esittelyissä kerrottiin mitä konenäkö on, millaisia sovelluksia sillä on eri aloilla ja infra-alalla yleensä sekä erityisesti teiden ja siltojen ylläpidossa ja hoidossa. Sen jälkeen kuunneltiin kokousten osallistujien kokemuksia nykyisistä järjestelmistä sekä tarjottiin tilaisuus kertoa uusista tarpeista ja sovellusideoista. Tämän lisäksi tavattiin monia infra-alan konsultteja, palvelun tarjoajia ja tutkijoita samojen aiheiden tiimoilta.

Tarpeita ja sovellusideoita tuli melko runsaasti. Joissakin tapauksissa tarpeet olivat selkeitä ja sovellusten tekniset toteutusmahdollisuudet tunnettuja. Osa sovellusideoista oli enemmän idea-asteella. Seuraavassa esitellään sovellusideoita ja arvioidaan niiden toteuttamismahdollisuuksia. Sovelluksista saatavia potentiaalisia hyötyjä arvioidaan yleisesti.

9.1 Automaattisen päällystevauriomittauksen (APVM) ja palvelutasomittauksen (PTM) integrointi

Sovelluksen tarve ja tavoite

- hanke- ja ylläpitosuunnittelussa on tarve yhdistää APVM- ja PTM tietoja valittaessa toimenpiteiden kohteita ja toimenpiteitä
- vaikka APVM- ja PTM-mittaukset tehdään pääsääntöisesti eri luokan teistä, mittaustietojen yhdistämisestä on joissain tapauksessa merkittävää hyötyä varsinkin jos tulokset saadaan samalla ajokerralla "ilmaiseksi"

Ratkaisun edellytykset ja menetelmät

- nykyisin käytävässä Rambollin APVM-ajoneuvossa on auton takana vauriomittauskamerat ja edessä joka tapauksessa ns. tekstuurilaseri, jotka on kohtuullisen helppo korvata PTM-lasereilla
- APVM- ja PTM-laitteiston yhtä aikainen käyttö vaatii käyttäliittymän kehittämistä
- integroitu APVM- ja PTM-ajoneuvo on käytetty Hollannissa
- sekä kamerat, valaisutekniikat, että laskenta-alustat ovat kehittyneet olennaisesti, joten jopa reaaliaikainen toteutus voi olla mahdollinen

Ongelmat ja haasteet

- kahden mittauksen samanaikainen suoritus on vaikeaa ja vaatii entistä ammattitaitoisempia ja paremmin koulutettuja henkilöitä
- säilyykö mittausten laatu yhtä hyvänä vai joudutaanko tekemään kompromissejä?
- vain yksi toimittaja kykenee tällä hetkellä integroituun mittaukseen

Tavoiteltavat hyödyt

- vähemmän mittausajoa, kun yhdellä kertaa tehdään kaksi mittausta
- lisäinformaatiota päätöksen tekoon

Kokonaisarvio ja suositus

- teknisesti toteutettavissa kohtuullisen helposti
- suositellaan kokeiltavaksi
- käyttökokemusten keruu Hollannista

9.2 Tiemerkintöjen kuntomittauksen ja paluuheijastavuuden integrointi

Sovelluksen tarve ja tavoite

- kerätä enemmän tietoa
- varmistaa tiemerkintätyön laatua

Ratkaisun edellytykset ja menetelmät

- täydellinen integrointi vaatii kehitystyötä
- erillisten kaupallisten laitteiden yhdistäminen mahdollista

Ongelmat ja haasteet

- kahden mittauksen samanaikainen suoritus on vaikeaa ja vaatii entistä ammattitaitoisempia ja paremmin koulutettuja henkilöitä
- mittausten laadun varmistus
- vain yksi toimittaja kykenee tällä hetkellä integroituun mittaukseen

Tavoiteltavat hyödyt

- vähemmän mittausajoa, kun yhdellä kertaa tehdään kaksi mittausta
- lisäinformaatiota päätöksen tekoon "samalla vaivalla"

Kokonaisarvio ja suositus

- teknisesti pääosin toteutettavissa tunnetuilla menetelmillä
- suositellaan kokeiltavaksi kun kokemuksia kuntomittauksesta on kerätty

9.3 Tieverkon varusteiden ja laitteiden inventointi

Sovelluksen tarve ja tavoite

- varusteiden ja laitteiden hallinta on suuri haaste /123/
- tarvitaan apuväline varusteiden ja laitteiden inventointiin
- tavoitteena korvata (tai täydentää) silmämääräistä arviota
- liikennemerkkien inventointi
- valaisinpylväiden inventointi
- muut varusteet ja laitteet

Ratkaisun edellytykset ja menetelmät

- liikennemerkkit, valaisinpylväät ja tiemerkinnot voidaan tunnistetaan ajoneuvosta otetuista videokuvista (esimerkiksi Google Street View) tunnetuilla menetelmillä
- tienvarsitaulujen tunnistus onnistunee samoilla menetelmillä kuin liikennemerkkien tunnistus

Ongelmat ja haasteet

- varusteita ja laitteita on suuri määrä erilaisia
- tienvarsitaulujen vaihteleva etäisyys tiestä ja taulujen epästandardi koko, muoto ja tekstit
- sääolosuhteiden vaikutuksen huomiointi (sade, lumi, sumu)

Tavoiteltavat hyödyt

- paremmat ja objektiivisemmat mittaustulokset
- mittausten tarkkuus parempi kuin silmämääräinen
- varusteiden ja laitteiden parempi hallinta

Kokonaisarvio ja suositus

- teknisesti toteutettavissa
- suositellaan analysoitavaksi sovellusta tarkemmin

9.4 Tieverkon varusteiden ja laitteiden kunnon arviointi automaattisesti

Sovelluksen tarve ja tavoite

- sovellus on kohdan 9.3. laajennus

- mitataan myös kohteiden kuntoa
- tavoitteena mitata esim. liikennemerkkien ja valaisinpylväiden kunto, paikka, asento, varren pituus jne.
- muiden varusteiden ja laitteiden kunnon mittaus

Ratkaisun edellytykset ja menetelmät

- vrt. kohta 9.3

Ongelmat ja haasteet

- samat kuin kohdassa 9.3
- kunnon arvioinnin tarkkuuden riittävyys

Tavoiteltavat hyödyt

- paremmat ja objektiivisemmat mittaustulokset
- mittausten tarkkuus
- tietojen päivityksen ja hallinnan helpottuminen

Kokonaisarvio ja suositus

- teknisesti toteutettavissa jollain tarkkuudella
- luonteva jatkovaihe inventoinneille (kohta 9.3)

9.5 Tiemerkintöjen inventointi

Sovelluksen tarve ja tavoite

- inventointi voidaan nyt tehdä viiva kerrallaan käyttäen Tiku-laitteistoa
- tavoitteena tehdä inventointi "kevyemmällä tavalla" muista tietolähteistä saadun kuvainformaation pohjalta
- kuvalähteenä voisi olla still-tiekuvat tai ajoneuvosta videokameralla otetut kuvat (esimerkiksi Google Street View)

Ratkaisun edellytykset ja menetelmät

- tekniset menetelmät ovat olemassa (esim. Tiku-laitteistossa)
- mikäli käyttökelpoiset kuvalähteet ovat olemassa, ratkaisu voidaan tehdä pelkästään ohjelmallisesti

Ongelmat ja haasteet

- käytettävissä olevien kuvien tai videoiden ajankohtaisuus

Tavoiteltavat hyödyt

- vältetään viivakohtainen erillismittaus merkintöjen kunnosta
- käytetään muutenkin olemassa olevaa tietoa "riittävän tarkan" inventaariotiedon muodostukseen

Kokonaisarvio ja suositus

- teknisesti toteutettavissa
- arvioitava hyötyjä vs. sovelluksen vaatima ponnistus

9.6 Sorateiden kuntoluokittelu

Sovelluksen tarve ja tavoite

- kehittää tiemestareille ja urakoitsijoille konenäköön perustuva toimiva ja edullinen mittausmenetelmä sorateiden laadun tarkastukseen
- soratien luokittelu viiteen kuntoluokkaan
- jatkotavoitteena on ottaa mittausjärjestelmä mahdollisimman laajaan ja säännölliseen käyttöön (tiemestarit, urakoitsijoiden tarkastusajoneuvot, säännöllisesti teitä pitkin liikkuvat muut ajoneuvot)

Ratkaisun edellytykset ja menetelmät

- kuvaus on periaatteessa yksinkertainen
- luokittelumenetelmät ovat olemassa
- järjestelmä voi toimia itsenäisenä tai sitä voi täydentää kiihtyvyyksimittaukseen perustuva erillisessä projektissa kehitetty menetelmä /126/
- tarvittava laitteisto samanlainen kuin esimerkiksi Tiku-laitteisto

Ongelmat ja haasteet

- kuvauksen luotettava suorittaminen ja käyttökelvottomien kuvien automaattinen hylkääminen
- valaistusolosuhteiden, erityisesti varjojen huomioiminen
- sääolosuhteiden huomioiminen kuva-analyysissä

Tavoiteltavat hyödyt

- hoito- ja kunnossapitotoimenpiteiden kohdennus sekä paikallisesti että ajallisesti paremmin, mistä saadaan merkittävät kustannussäästöt ja yhtenäisempi sorateiden kunto
- soratieverkoston kunnosta saadaan enemmän ja kattavampaa informaatiota esimerkiksi hoidon alueurakoiden suunnittelua varten
- liikenteen sujuvuus ja turvallisuus paranee

Kokonaisarvio ja suositus

- hankkeesta on tehty projektiehdotus
- sorateiden kuntoluokittelu on hyvin potentiaalinen konenäkösovellus

9.7 Tiepäälysteiden kulumisen ennustaminen jatkuvan liikenne- ja säätiedon avulla**Sovelluksen tarve ja tavoite**

- tavoitteena on toteuttaa ennustemalli, jonka avulla voidaan valita teknis-taloudellisesti edullisin päälystysratkaisu tietyn tyyppiin (liikennekuormitus, sää) olosuhteisiin.
- toinen tavoite on hyväksikäyttää olemassa olevaa tietoaineistoa kuntomuutoksen todentamiseen.
- lopputuloksen perusteella on mahdollista ryhtyä ohjaamaan entistä tarkemmin erittäin vilkkaasti liikennöityjen teiden päälysteiden kulumista

Ratkaisun edellytykset ja menetelmät

- taustalla on uusi mahdollisuus yhdistää eri hankkeiden tuottamaa tietoaineistoa pitkäjänteisesti, koska päälysteiden kuntomuutoksen seuranta vaatii useita vuosia.
- laiteinstrumentoinnit on pääosin toteutettu ja tiedonkeruussa hyödynnetään olemassa olevia laitteistoja, joilla mitataan liikenne- ja säätietoja
- konenäön avulla saadaan tietoja liikennemääristä ja ajoneuvotyypeistä ajan myötä yhä useammista paikoista
- tiedonkeruussa voidaan myöhemmin hyödyntää esimerkiksi matka-aikaseurannan kameraverkkoa

Ongelmat ja haasteet

- liikennetietojen riittävän luotettava saanti kaikissa sää- ja valaistusolosuhteissa

Tavoiteltavat hyödyt

- hankkeesta saadaan huomattavia säästöjä, kun vältetään virheellisiä toimenpidevalintoja tiettyihin olosuhteisiin tai päälyste saadaan kestävämpään pidempään hitaamman kulumisen vuoksi
- projektin tulokset on otettavissa käyttöön kaikissa kohteissa, jossa vilkas liikenne ja muuttuvat sääolosuhteet vaikeuttavat päälysteiden taloudellista ylläpitoa.
- hyödyn saaja on sekä tienpitäjä että urakoitsijat, sekä tienkäyttäjät, joita usein toistuvat päälystystyöt haittaavat
- tulokset ovat otettavissa käyttöön sitä mukaa kun tietopohja paranee, sekä saadaan mukaan uusia seurantapisteitä

Kokonaisarvio ja suositus

- hankkeesta on tehty projektiehdotus
- hanke on toteutuskelpoinen ja potentiaaliset hyödyt ovat pitkällä aikavälillä merkittävät

9.8 Kuivatus

Sovelluksen tarve ja tavoite

- tutkimusten mukaan huono kuivatus on tärkeä syy päälystevaurioihin /125/
- kuivatuksen kunnossapito kuuluu hoitourakoitsijan laatuvaatimuksiin, jolloin mittaamalla kuivatuksen laatua voitaisiin valvoa

Ratkaisun edellytykset ja menetelmät

- tien kuivatukseen liittyviä kuvauksia/mittauksia voidaan tehdä keväällä (toukokuun loppuun mennessä) ennen kuin kasvillisuus on noussut näköesteeksi
- kuivatuksen laatua voitaisiin mitata kahden kameran avulla
 - o tavallisen videokameran kuvan perusteella erotetaan ojan paikka
 - o lämpökameran avulla päätellään onko ojan pohjalla vettä tai onko se kostea. Vesi ja kosteus näkyvät lämpökameralla kylmempinä

Ongelmat ja haasteet

- rajoitettu aika keväällä, jolloin mittauksia voidaan tehdä
- säiden vaihtelun merkityksen arviointi

Tavoiteltavat hyödyt

- kuivatukseen liittyvä säästöpotentiaali on koko maan tasolla varsin suuri (n. 30 – 50 M€ Roadex-tutkimusohjelman tulosten mukaan /125/)

Kokonaisarvio ja suositus

- teknisesti toteutettavissa
- mahdollinen pilot-hankkeen kohde

9.9 Muita ideoita

Eri yhteksissä esitettiin myös muita sovellusajatuksia, joiden perustelut ja tarpeet eivät kaikilta osin olleet kiteytyneet täysin selkeiksi.

9.9.1 Kelirikon hallinta

Kelirikon seuraukset ilmenevät päällystetyillä teillä mm. tien pinnan vaurioitumisena ja ne voidaan nähdä vauriomittauksessa. Sorateilla kelirikot näkyvät mm. painumina ja teiden profiilien muutoksina. Sorateiden kuntomittauksen (9.6) yhteydessä voitaisiin mahdollisesti arvioida myös kelirikon vaikutuksia.

9.9.2 Kitkamittaus

Tienpinnan kitka vaikuttaa merkittävästi liikenneturvallisuuteen. Kitkaan vaikuttavat mm. tien pinnan kosteus, pinnoitteen materiaali ja hienojakoisuus, sekä pinnalla oleva bitumi. Tiemerkinnot ja halkeamien paikkauskohdat ovat muita tienosia liukkaampia. Erityisesti tien keskisauma paikkaus bitumilla "kannukaatona" aiheuttaa vaarallisen liukkaan kohdan tiehen. Kitkaa voidaan lisätä karhentamalla liukkaita kohtia esim. paikkauksia.

Tiestä otetuissa kuvissa erottuvat silmämääräisesti tasaiset ja "liukkaat näköiset" kohdat karkeammista kohdista. Tämä on johtanut ajatukseen, että tekstuurianalyysillä voitaisiin kameralla otetusta tien pinnan kuvasta erottaa karkeat ja tasaiset alueet, millä voisi olla korrelaatio pinnan liukkauteen. Konenäöllä ei arvioiden mukaan pystytä yksin mittaamaan tiepinnan kitkaa, mutta siitä voisi olla lisäarvoa yhdistettynä muihin tekniikoihin.

9.9.3 Päällysteiden pintakarkeus

Tien päällysteen karkeudella on vaikutusta mm. tien liukkauteen, meluisuuteen ja ajomukavuuteen. Karkeutta mitataan laseriin perustuvalla palvelutasomittauksella. Päällystevauriomittauksessa saadaan paljon tietoa tien pinnasta, josta tekstuurianalyysiä hyödyntäen voidaan mahdollisesti mitata tien karkeutta eri kohdissa ja tulkita avoimen päällysteen (SMA) vaurioita.

Karkeusmittaus voidaan periaatteessa toteuttaa myös 3-D -mittausperiaatteen varaan. Tällainen ratkaisu voisi olla houkutteleva, jos sen perustekniikan voisi lainata esim. teollisesta pinnantarkastussovellutuksesta.

9.9.4 Tikun jatkokehitys

TIKu -laitteiston kehittämistarpeiden ehdotettiin arvioitavaksi esimerkiksi tärkeiden merkintöjen havaitsemisen ja inventoinnin osalta.

9.9.5 Talvihoito

Tarpeena esitettiin teiden talvihoitoon liittyvien suureiden, kuten polanteen ja lumen paksuuden mittaaminen sekä suolaustarpeen ja siihen liittyvien suureiden tunnistaminen. Voisiko konenäön avulla löytää ratkaisuja?

9.9.6 Ajolinjat

Ajolinjoilla on merkitystä kaikissa ajoneuvoilla tehtävissä mittauksissa. PTM-mittauksessa ajoneuvon kulkiessa massamerkinnän päällä se voi aiheuttaa merkittävän virheen, sillä massakerros voi olla useita millimetrejä paksu. Voitaisiinko konenäön avulla valvoa ja ilmoittaa, jos pyörä on massamerkinnän päällä? Vauriomittauksessa ajolinjalla on myös merkittävä vaikutus varsinkin mittausten toistettavuuteen ja peräkkäisinä vuosina tehtävien mittausten vertailukelpoisuuteen.

9.9.7 Uusi mittari kunnan arviointiin

Tien kunnan arviointi tapahtuu muutamien keskeisten mittausten, kuten palvelutasomittauksen ja päällystevauriomittauksen perusteella. Olisiko mahdollista kehittää uusi mittari päällysteiden kunnan arviointiin, joka kuvaisi paremmin käyttäjien kokemaa tien kuntoa ajon kannalta?

9.9.8 Päällystereikien paikkaus

Päällystereikien nykyisessä paikkauksessa esitettiin olevan toivomisen varaa. Esitettiin idea automaattisesta päällysteen reikien paikkauskoneesta, jossa konenäköä hyödynnettäisiin reikien etsinnässä ja paikatus reiän paikkauslaadun tarkastuksessa. Paikkausautomaatti edellyttänee reikien 3-D volyymimittausta oikean materiaalmäärän annostelemiseksi.

9.9.9 Ennustaminen

Voidaanko konenäköön perustuvien ja muiden mittausten sekä tierakenneinformaation perusteella ennustaa tulevia kunnossapito-, hoito ja tienparannustarpeita?

10 SILTOJEN YLLÄPIDON JA HOIDON MAHDOLLISET SOVELLUKSET

Siltojen uusien tarpeiden ja konenäön soveltamismahdollisuuksien selvittämiseksi haastateltiin silta-alan asiantuntijoita. Siltaisinöörien verkon kokouksessa järjestettiin esittely, jossa kerrottiin konenäöstä ja sen sovelluksista yleensä ja infra-alalla sekä erityisesti teiden ja siltojen ylläpidossa ja hoidossa. Sen jälkeen keskusteltiin uusista tarpeista ja sovellusideoista. Tämän lisäksi tavattiin monia infra-alan konsultteja ja tutkijoita samojen aiheiden tiimoilta.

Tarpeita ja sovellusideoita tuli jonkin verran. Konenäön siltasovelluksille on ominaista, että tavoiteltavaa päämäärää ei saavuta pelkästään konenäön keinoin, vaan konenäkö tarjoaa lisäarvoa muiden tekniikoiden ohessa.

Suomessa on n. 14 000 siltaa ja niiden arvo on n. 4000 M€. Suomen sillat ovat keskimäärin pieniä (jänneväli keskimäärin 20 m) ja uusia. Niiden korjaamiseen käytetään vuodessa noin 40 - 45 M€, jonka arvioidaan olevan liian vähäinen rahamäärä jatkuvan hyvän kunnon ylläpitämiseen.

Siltoja tarkastetaan normaalisti 5 vuoden välein lähinnä silmämääräisenä tarkastuksena. Tarkastuksiin käytetään rahaa 200 – 300 €/silta/5 vuotta, eli selvästi alle 1 M€ vuodessa koko maassa. Työn tekevät pääsääntöisesti palvelu-urakoitsijat. Suurille silloille tehdään tarkastuksia myös henkilönosturia hyväksi käyttäen, jolloin tavallisesti tehdään muitakin kuin silmämääräisiä tarkastuksia. Mikäli tarkastuksissa havaitaan vakavia vaurioita, tehdään tarvittaessa erityistarkastus asianmukaisia apuvälineitä käyttäen. Tarkastuksissa pyritään ennakoimaan tulevia vaurioita./124/

Siltojen suunnittelutiedot ja tarkastustiedot tallennetaan siltarekisteriin. Sillanhallintajärjestelmä on hyvä ja systemaattinen. Suomessa siltojen aiheuttamat vaaratilanteet ovat erittäin harvinaisia.

10.1 Siltakannen vesieristyksen vaurio

Sovelluksen tarve ja tavoite

- siltojen vesieristyksen puutteet ja huono tekninen taso menneinä vuosikymmeninä aiheuttaa tällä hetkellä merkittävän ongelman. Ongelmana on veden pääsy kansirakenteen läpi sillan kantaviin rakenteisiin, jotka veden takia ruostuvat tai muuten vioittuvat ja menettävät kantavuuttaan
- suuri kysymys on, löytyykö menetelmää tai useiden menetelmien yhdistelmää, jolla voitaisiin 70- ja 80-luvun sillat tarkastaa siten, että rakenteita rikkomatta voidaan nähdä, onko kansirakenteen läpi vuotanut vettä kantaviin rakenteisiin

Ratkaisun edellytykset ja menetelmät

- vesivauriot voidaan havaita sillan alapuolelta, kun vuoto on jo läpäissyt kansibetonin, päällysteen vaurioitumisena tai poraamalla kannen läpi reikä ja tarkastelemalla pistemäisesti mahdollisia tukirakenteiden vaurioita
- maatutkausta käytetään sillan kansien ja kantavien rakenteiden analysointiin. Tulokset eivät ole johdonmukaisia, koska mittaukseen liittyy monia häiritseviä tekijöitä. Mittauksella voidaan havaita mm. sillan kannen painumiin jääneitä märkeä kohtia.
- konenäkö voi tarjota muita menetelmiä täydentävää tukea vian havainnoinnissa. Vauriomittauksella voidaan havaita sillan kannessa ilmenevät vauriot ja peräkkäisinä vuosin tehdyillä mittauksilla vaurioiden kehitys. Sillan alta otetusta kuvasta ja vertaamalla eri vuosina otettuja kuvia nähdään vuotokohdat ja niiden muutokset sekä mahdolliset pintojen halkeamat ja niiden kehitys
- tarvittavat kuvat voitaisiin kerätä videoina, joista koostetaan panoraamakuvat. Näin vältetään yksittäisten kuvien ottamisen ja arkistoinnin ongelmilta

Ongelmat ja haasteet

- vesivaurion eteneminen on vaikea havaita, ennen kuin se on jo päässyt aiheuttamaan mahdollisesti pysyviä vahinkoja
- minkään yksittäisen menetelmän tai tekniikan avulla ei kyetä ratkaisemaan ongelmaa vaan mahdollinen ratkaisu on monen tekniikan yhdistelmä

Tavoiteltavat hyödyt

- merkittävä hyöty on siltojen korjausrahojen optimaalinen käyttö kiireellisimpiin kohteisiin
- jos vuoto pystytään toteamaan riittävän varhain, niin sillan kansi ja vesieristeet voidaan tarvittaessa korvata uudella ja estää kantavien rakenteiden vakava vioittuminen

Kokonaisarvio ja suositus

- hyötypotentiaali on suuri
- vaatii tarkempaa analyysiä ja soveltuvuustutkimusta monipuoliselta asiantuntijaryhmältä

10.2 Siltojen monitoroinnin konenäkösovellukset

Sovelluksen tarve ja tavoite

- VTT:llä alkamassa projekti SITUEL (Siltojen ja tunnelien turvallisuus ja turvallinen käyttö), jonka kesto on 3 v. Hanke on jatkoa aiemmalle Siltojen monitorointi (SIMO) projektille./127/

- projekti koskee yhteiskunnan kannalta tärkeitä ja arvokkaita rakenteita, kuten esim. siltoja, tunneleita ja maanalaisia pysäköintiluolia
- tärkein projektin tavoite on mitatun tiedon hyödyntäminen siten että Infra omaisuuden hallinta on turvallista ja taloudellista koko sen elinkaaren ajan
- mitatun tiedon avulla rakenteen kunnon kehittyminen voidaan ennustaa ja korjaustoimenpiteet voidaan ajoittaa oikein ja taloudelliselta kannalta optimaalisesti
- mittalaitteet ohjelmoidaan niin, että osa tarvittavasta tiedosta voidaan laskea jo mittauspaikalla ja tarvittaessa myös suorittaa hälytys turvallisuutta uhkaavissa tilanteissa

Ratkaisun edellytykset ja menetelmät

- kamera- ja konenäköosuuksia projektissa ovat:
 - o videokuvan automaattinen tulkinta korroosio- ja kosteuskuvissa sekä liikenteen valvonnassa
 - o viranomaiset voivat valvoa rakennetta tulipalon, kolarin, ilkivallan (esineitä tai henkilöitä tiellä tai väylillä) ja terrorismin havaitsemiseksi
 - o kameravalvonnalla voidaan ohjata liikennepuuhkia ja huoltoliikennettä sekä väylän kuntoa
 - o erikoiskuormien valvonta ilman liikenteen ohjaajaa (kuorman suuruus, ajolinja, nopeus, kellonaika, kuorman paino ja äärimitat)
- tiedot liitetään osaksi kokonaisjärjestelmän tietoja

Ongelmat ja haasteet

- hyödyt toteutuvat pitkällä aikavälillä

Tavoiteltavat hyödyt

- SITUEL on nähtävä osana laajempaa kokonaisuutta eli osana koko Infran tuotemallia, Infran yleistä hallintaa sekä turvallisuuden ja kunnon ylläpitoa
- korjaus- ja ylläpitotoimintojen taloudellinen optimointi
- infraomaisuuden koko elinkaaren aikaisen käytön ja turvallisuuden optimointi

Kokonaisarvio ja suositus

- hyötypotentiaali on erittäin suuri
- konenäköosuus on pieni, mutta oleellinen osa koko projektia

10.3 Muita ideoita

10.3.1 Pintojen tarkastus

Siltojen kuntoa arvioitaessa tarkastellaan myös pintoja ja niiden kuntoa. Betonirakenteiden halkeamien leveys on kriittinen tekijä, sillä leveän halkeaman kautta vesi pääsee kantaviin rakenteisiin ja aiheuttaa heikentymistä mm. teräksen ruostumista ja betonin rapautumista. Betonipintojen halkeamat voidaan havaita kastelemalla betonipinta ja seuraamalla sen kuivumista, jolloin halkeamat näkyvät korostetusti kosteuden kuivuessa nopeammin yhtenäisiltä pinnoilta. Kaiteiden ja muidenkin metallisten rakenneosien kuntoa voidaan arvioida niiden ruosteisuuden ja taipumien perusteella.

Betoniosien kuntoa ja niissä tapahtuvia muutoksia voidaan seurata kuvaamalla rakenteita samasta kohtaa eri ajankohtina, vertaamalla kuvia ja havainnoimalla muutoksia. Kaiteiden ja muiden tieltä nähtävien osien kuntoa voidaan mitata myös liikkuvaan ajoneuvoon kiinnitetyistä kameroista. Samoilla välineillä ja menetelmillä, joita voidaan käyttää tieverkon varusteiden ja laitteiden inventointiin ja kunnon arviointiin, voitaisiin käyttää myös siltojen kaiteiden yleiskunnon arviointiin. Samalla kertaa saataisiin yleiskuva myös sillan kannen päällysteestä.

Päällystevaurio- ja palvelutasomittauksissa mitataan suuri määrä siltojen päällysteitä ja saadaan siten tietoa siltojen kunnosta.

10.3.2 Sillantarkastusrobotti

Siltojen erikoistarkastuksissa käytetään tarvittaessa henkilönostureita, joilla päästään tarkastelemaan siltaa myös altapäin. Henkilönosturin voisi ainakin osittain korvata sillantarkastusrobotti, jonka ohjattavan varren päässä on kamera, jolla kuvaus voitaisiin kätevästi tehdä vaikeistakin paikoista, tallentaa kuvat myöhempää tarkempaa tutkimista varten. Korealaiset ovat tehneet tutkimuksia mm. sillantarkastusroboteista ja siltojen hitsaussaumojen tutkimisesta konenäöllä /32/.

10.3.3 Lentävä sillantarkastuslaite

Kuvausten suorittamiseen vaikeapääsyisistä paikoista ja lintuperspektiivistä ehdotettiin ratkaisuksi kameralla varustettua, radio-ohjattavaa pienoishelikopteria /118/. Käyttötarkoituksena voisi olla korjaussuunnittelun lähtötietojen hankinta, siltojen tarkastus ja laserkeilaus.

10.3.4 Betonin valuhuokosten mittaus

Sillan kansia valettaessa betonin laatua valvotaan mittaamalla valuhuokosten määrää. Mittaus tapahtuu laskemalla huokosten lukumäärä silmämääräisesti määrättyä aluetta. Ongelman ratkaisu vaikuttaa selkeältä konenäkösovellukselta.

10.3.5 Liikuntasaumojen kunnon arviointi

Siltojen liikuntasaumojen kunto ei ole aina tyydyttävällä tasolla. Päälystettyjen teiden vauriomittauksessa (APVM) kuvataan n. 14000 km tietä ja tiedot tallennetaan kovalevyille myöhempää analyysiä varten. Kuvissa on erittäin suuri määrä siltojen kansia ja liikuntasaumoja. Kuvauksen resoluutio riittää hyvin liikuntasaumojen kunnon arviointiin, joten ongelmaa voidaan suositella tutkittavaksi tarkemmin.

10.3.6 Kamerakuvan yhdistäminen laserkeilauksen 3D-malliin

Olemassa olevien siltojen 3D-mallit voidaan muodostaa laserkeilauksen avulla. Tiettyyn tarkkuuteen asti laserkeilauksella saadaan esille myös rakenteissa olevia vaurioita, kuten halkeamia. Yhdistämällä laserkeilauksella muodostettu 3D-malli ja tarkka kamerakuva saadaan sillan rakenteissa olevista halkeamista ja muista vauriosta tarkka kuva ja vaurioiden muutoksia voidaan seurata myöhemmissä kuvauksissa.

11 JOHTOPÄÄTÖKSET

11.1 Konenäköpilotti osana Infra 2010-kehitysohjelmaa

Konenäkötekniikka on käytössä olevaa ja nopeasti kehittyvää tekniikkaa, jolla on jo tällä hetkellä infra-alalla monia sovelluksia. Konenäkötekniikan tulevaisuuden näkymät ovat valoisat, koska monet vahvat toimijat, kuten autoteollisuus, mobiililaitetoimittajat, Google ja infra-alan palveluntarjoajat, kehittävät uusia sovelluksia ja tiedonkeruutapoja alalle. Tienpidon kannalta keskeisiä sovelluksia ovat automaattinen päällystevauriomittaus (APVM) ja tiemerkintöjen kunnon mittaus (Tiku). Projekti on toivon mukaan edistänyt infra-alan toimijoiden tietoisuutta konenäön tarjoamista mahdollisuuksista nykyisissä ja uusissa sovelluksissa.

Konenäköpilotti on kytkeytynyt Infra-2010 oppimispilottiin siten, että konenäköpilotin yhteydessä on kehitetty Tiehallinnon ja sen kumppanien tuotekehitysprosessia. Tällä tavoin on pyritty tukemaan ja edistämään uuden teknologian käyttöönottoa teiden ylläpidossa ja hoidossa.

11.2 Tarpeet etusijalla

Tiehallinnon asiantuntijaverkoista ja muilta alan toimijoilta on kerätty monia mahdollisia sovellusideoita teiden ja siltojen ylläpitoon ja hoitoon. Ratkaisuja kaikkiin sovelluksiin ei synny heti, vaan olisi päästävä toimijoiden kesken jatkuvaan dialogiin ja projektien toteutukseen sen mukaan, kun ne ovat taloudellisesti perusteltavissa.

Normaalisti tuotekehitys etenee siten, että syntyneeseen tarpeeseen etsitään ratkaisu hyödyntäen parhaiten soveltuvaa tekniikkaa, eikä niin, että valitulle tekniikalle etsitään sovelluskohteita. Toisaalta kokemus esim. teollisten konenäkösovellusten kehityksestä ja tietous teknisten mahdollisuuksien olemassa olosta luovat hyvän pohjan uusille oivalluksille myös infra-alalla.

11.3 Teknisiä näkökohtia

Konenäkö on usein vain osa kokonaisongelman ratkaisua, johon liittyy paljon muuta (laskennat, matemaattiset mallin, muut mittaukset ja tekniikat jne.) Tiemerkintöjen kuntomittaus on puhtaasti konenäköön perustuva mittaus, mutta esimerkiksi nykyisin käytössä olevassa vauriomittausmenetelmässä käytetään oleellisenä osana laseriin perustuvaa tekstuurimittausta. Tekstuurimittauksen perusteella valitaan kuva-analyysin käyttämät parametrit 5-portaisesta parametrisarjasta

Rekisterikilpien tunnistus on puhdasta konenäköä, mutta niiden käytössä usein luennan liipaisu tapahtuu nopeus- tai etäisyysmittauksen perusteella. Erityisesti ajoneuvoissa olevat mittaukset ja ajoa helpottavat laitteet on toteutettu eri tekniikoilla, jotka kytkeytyvät toisiinsa. Sovelluksissa käytetään mm. tutka- ja lasertekniikkaa.

Kun arvioidaan konenäön tulevaisuuden käyttöä ja sovelluksia, on tarkasteltava nykytekniikan mahdollisuuksia, konenäön tulevan teknisen

kehityksen tuomia uusia mahdollisuuksia sekä konenäön ja sitä tukevien tekniikoiden yhdessä tuomia mahdollisuuksia.

Kameroiden, laskenta-alustojen ja valaisutekniikan kehittyminen on johtamassa todellisuuteen, jossa suuriresoluutioisia digitaalisia kuvia pystytään kaappaamaan, siirtämään ja prosessoimaan reaaliaikaisesti yleiskäyttöisistä tietokoneista löytyvällä teholla. Kuvien laatuakin pystytään parantamaan laskennallisesti. Perinteiset konenäköön erityisesti suunnitellut laskenta-alustat jäävät tämän kehityksen myötä pelisovelluksiin tarkoitettujen altavastaaajiksi. Seurauksena sovellutusten kehittämiskynnyks alentunee, ja niihin tulee tarjolle yhä enemmän valmiskomponentteja.

11.4 Vaihtelevat olosuhteet

Infra-alan konenäkösovellukset ovat monesti haastavia vaikeiden ja vaihtelevien ympäristöolosuhteiden takia (vesisade, valaistuksen vaihtelu, pimeys, auringonpaiste, talviolosuhteet jne.). Olosuhteita on vaikea vakioida, kuten tehdään esim. teollisissa sovelluksissa.

APVM-mittauksessa ympäristöolosuhteiden vaikutusta pienennetään keinovalon avulla, mutta leveyden asettamien rajoitusten takia mittauskohdetta ei voida reunoilta valaista tasaisesti. Sääolosuhteet, kuten sade, tien kosteus vesilätäköt, vaikuttavat mittauksien tulokseen. Rekisterikilpien tunnistus voidaan joskus tehdä jossain määrin vakioituissa olosuhteissa, mutta tiemerkintöjen kuntomittaukset ja liikennemerkkien tunnistus on tehtävä ulkona vallitsevissa olosuhteissa.

11.5 APVM ja Tiku - tärkeimmät käyttökohteet

APVM-mittaus on tärkein alue, jossa konenäköä käytetään Tiehallinnossa ja erityisesti teiden ylläpidossa ja hoidossa. Perehtyminen mittausjärjestelmään ja sen teknisiin ratkaisuihin on paljastanut kuvanotossa ja kuvien analyysissä merkittäviä puutteita, joiden poistamiseksi on syytä tehdä määrätietoista ponnisteluita. Kohdassa 11.7 on ehdotus jatkohankkeeksi APVM:ta koskien.

Tiemerkintöjen kuntomittauksesta on vasta vähän kokemusta, mutta sen käyttöä kannattaa tehostaa, koska Tiku:n optimaalinen käyttö tarjoaa melkoisia säästö- ja tehostusmahdollisuuksia tiemerkintöjen tekemiseen ja ylläpitoon.

11.6 Kamerajärjestelmien käyttö

Teillä on runsaasti erilaisia kamerajärjestelmiä, jotka kukin on tarkoitettu omaan erikoistuneeseen tehtäväänsä. On syytä tutkia eri järjestelmien liittymistä toisiinsa sekä järjestelmien keräämän tiedon monipuolisempaa käyttöä. Erityisen paljon uusia mahdollisuuksia tarjoaa matka-aikamittauksen kameraverkko, jota voitaisiin käyttää myös monipuoliseen liikennelaskentaan, joissa tarvitaan ainakin liikennemäärät, nopeudet ja ajoneuvotyypit.

Monissa Tiehallinnon verkoista tulleissa sovellusideoissa toivottiin mahdollisuutta tiemerkintöjen, liikennemerkkien, valopylväiden ja muiden

tieverkon varusteiden ja laitteiden inventointiin ja kunnan valvontaan. Google Street View voisi tarjota ainakin pitkällä tähtäyksellä apuvälineen inventointien tarvitseman lähtötiedon keruuseen. Analysoimalla videokuvaa edistyneillä kuvankäsittelymenetelmillä niistä voidaan etsiä inventoitavat ja valvottavat kohteet.

11.7 Ehdotuksia kehittämiskohteiksi

Seuraavat ehdotettavat konkreettiset kehityskohteet ovat tapauksesta riippuen eri vaiheissa. Osasta on tehty projektiehdotus ja toiset ovat suunnitteluvaiheessa.

11.7.1 APVM-mittauksen jatkokehitys

Kehityksessä suositellaan edettäväksi vaiheittain

- vaiheessa 1 analysoidaan nykyisellä järjestelmällä otetut kuvat uudelleen ja pyritään saamaan tulokset tyydyttävälle tasolle
- vaiheessa 2 tehdään suunnitelma ja ehdotus myös kuvausjärjestelmän uusimisesta

11.7.2 Sorateiden kuntoluokittelu

Tavoitteena kehittää tiemestareille ja urakoitsijoille konenäköön perustuva toimiva ja edullinen mittausmenetelmä sorateiden laadun tarkastukseen (kts 9.5). Hankkeesta on tehty projektiehdotus.

11.7.3 Tieverkon varusteiden ja laitteiden inventointi sekä kunnan arviointi

Tieverkon varusteiden ja laitteiden inventointi ja kunnan arviointi on vaikeasti ylläpidettävä ja työläs tehtävä mihin, konenäkö voi tarjota helpottavan apuvälineen. Hanke ehdotetaan toteutettavaksi vaiheittain.

11.7.4 Tiepäälysteiden kulumisen ennustaminen jatkuvan liikenne- ja säätiedon avulla

Tavoitteena on toteuttaa ennustemalli, jonka avulla voidaan valita teknis-taloudellisesti edullisin päällystysratkaisu tietyn tyyppisiin (liikennekuormitus, sää) olosuhteisiin. Hankkeesta on tehty projektiehdotus.

11.7.5 Liikuntasauojen kunnan arviointi

APVM- kuvien analyysi siten, että siltojen liikuntasauojen kuntoa voidaan arvioida.

11.7.6 Siltojen monitoroinnin konenäkösovellukset

Siltojen monitoroinnin jatkotutkimusprojekti SITUEL (Siltojen ja tunnelien turvallisuus ja elinkaaren hallinta) on alkamassa VTT:n johdolla. Projektiin on syytä sisällyttää konenäön hyväksikäytön tutkiminen.

12 KIRJALLISUUTTA

1. M Pietikäinen & O Silvén (2002). Konenäkö. Neljännes vuosisata hatutusta: Hahmontunnistustutkimus Suomessa 1977-2002, 74-85.
2. AM Wallace (1988). Industrial applications of computer vision since 1982. IEE Proceedings 153(3), 117-136.
3. ER Davies (1990). Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities. Academic press, London.
4. www.avr-vr.com (2008)
5. J Serra (1982). Image Analysis and Mathematical Morphology. Academic Press, New York.
6. J Rauhamaa (2004). Paper defect classification with neural networks. Machine Vision News, vol 9.
7. J Hannuksela, J Väyrynen, J Heikkilä & P Sangi (2007) Fast Registration Methods for Super-Resolution Imagin. Proc. Finnish Signal Processing Symposium, Oulu, Finland.
8. J Boutellier, M Bordallo-Lopez, O Silvén, M Tico M & M Vehviläinen (2007). Creating panoramas on mobile phones. Proceeding of SPIE Electronic Imaging 2007, San Jose, California, USA, February, 6498(07).
9. M Niskanen M (2006). View dependent enhancement of the dynamic range of video. Hong Kong, 1:984-987, Proc. 18th International Conference on Pattern Recognition (ICPR 2006).
10. www.Visidon.fi (2008)
11. www.Intopii.fi (2008)
12. M Niskanen (2003). A Visual Training Based Approach to Surface Inspection. Dissertation. Acta Univ Oul C 186
13. 3D reconstruction of road surfaces using an integrated multi-sensory approach. Si-Jie Yu, a, , Sreenivas R. Sukumara, Andreas F. Koschana, David L. Pagea and Mongi A. Abidia alming, Robotics, and Intelligent Systems Laboratory, Department of Electrical & Computer Engineering, The University of Tennessee. Optics and Lasers in Engineering. Volume 45, Issue 7, July 2007, 808-818.
14. Digital image processing as a tool for pavement distress evaluation. A. Georgopoulou, A. Loizosb and A. Floudac. Department of Surveying, Laboratory of Photogrammetry, National Technical University Athens (NTUA), Athens, Greece. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. Volume 50, Issue 1, February 1995. 23-33.
15. Automatic pavement distress detection system. H. D. Cheng and M. Miyojim. Dept. of Computer Science, Utah State University. Information Sciences Volume 108, Issues 1-4, July 1998. 219-240.
16. The development of a machine vision-assisted, teleoperated pavement crack sealer. Jeong-Ho Leea, Hyun-Seok Yooa, Young-Suk Kima, Jun-Bok Leeb and Moon-Young Choc School of Architecture, Inha University, Korea. Proc. Automation in Construction. Volume 15, Issue 5, September 2006. 616-626.
17. Gaussian normalisation of morphological size distributions for increasing sensitivity to texture variations and its applications to pavement distress classification. Bhagvati, C. Skolnick, M.M. Grivas, D.A. Dept. of Comput. Sci., Rensselaer Polytech. Inst., Troy, NY, USA. Computer Vision and Pattern Recognition, 1994. Proceedings CVPR '94. June 1994. 700 - 703.

18. A Markov random field for rectilinear structure extraction in pavement distress image analysis. Delagnes, P. Barba, D. SEI-IRESTE, Nantes, France. Image Processing, 1995. Proceedings. Oct. 1995. Volume: 1. 446 - 449.
19. Application of machine vision techniques for the evaluation of highway pavements in unstructured environments. Hosin Lee Washington State Univ., Pullman, WA, USA. Advanced Robotics, 1991. Volume 2. June 1991. 1425 - 1428.
20. Laser-based system for highway pavement texture measurement. Mu Xiangyang Li Lin Tang Nan Ce Liu Jiang Xiuhang Depat. of Ind. Autom., Xi'an Shiyong Univ., China. Intelligent Transportation Systems, 2003. Proceedings. Oct. 2003 Volume: 2. 1559 - 1562.
21. One application of neural networks for detection of defects using video data bases: identification of road distresses. Meignen, D. Bernadet, M. Briand, H. Lab. Central des Ponts et Chaussees, Bouguenais, France. Database and Expert Systems Applications, 1997. Proceedings. Sept. 1997. 459 - 464.
22. Automatic road-distress classification and identification using a combination of hierarchical classifiers and expert systems-subimage and object processing. Kil, D.H. Shin, F.B. Adv. Concepts & Dev., Goodyear, AZ, USA. Image Processing, 1997. Proceedings. Oct. 1997. Volume: 2. 414 - 417.
23. The evolution of a massively parallel vision system for real-time automotive image processing. Broggi, A. Dipartimento di Ingegneria dell'Inf., Parma Univ., Italy. Parallel Processing Symposium, 1996. April 1996. 724 - 728.
24. Image segmentation and pattern recognition for road marking analysis. Rebut, J. Benshair, A. Toulminet, G. PSI Lab., FRE CNRS, France. Industrial Electronics, 2004 IEEE International Symposium on. May 2004. Volume: 1. 727 - 732.
25. Road markings recognition. Frank, D. Lab. Regional des Ponts et Chaussees de Strasbourg, France. Image Processing, 1996. Proceedings. Sept. 1996. Volume: 1. 669 - 672.
26. Road markings recognition using image processing. Charbonnier, P. Diebolt, F. Guillard, Y. Peyret, F. Lab. Regional des Ponts et Chaussees, Strasbourg, France. Intelligent Transportation System. Nov. 1997. 912 - 917.
27. Nonlinear distortion-tolerant filters for detection of road signs in background noise. Perez, E. Javidi, B. Dept. of Opt. & Optometry, Tech. Univ. of Catalonia, Barcelona, Spain. Vehicular Technology, IEEE Transactions on. May 2002. Volume: 51, Issue: 3. 567 - 576.
28. Nonlinear distortion-tolerant filters for detection of road signs in background noise. Perez, E. Javidi, B. Dept. of Opt. & Optometry, Tech. Univ. of Catalonia, Barcelona, Spain. Vehicular Technology, IEEE Transactions on. May 2002. Volume: 51, Issue: 3. 567 - 576.
29. Traffic sign recognition and analysis for intelligent vehicles. A. de la Escalera, J. Ma Armingol and M. Mata Division of Systems Engineering and Automation, Universidad Carlos III de Madrid. Image and Vision Computing. Volume 21, Issue 3, 1 March 2003. 247-258.
30. A real time automatic sign interpretation system for operator assistance. Bose, N. Shirvaikar, M. Pieper, R. Dept. of Electr. Eng., Texas Univ., Tyler, TX, USA. System Theory, 2006. Proceeding. March 2006. 11 - 15.

31. Detection of text on road signs from video. Wen Wu; Xilin Chen; Jie Yang. Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on. Volume 6, Issue 4, Dec. 2005. 378 - 390.
32. Design and Control of Bridge Inspection Robot System. Oh, Je-Keun Lee, An-Yong Oh, Se Min Choi, Youngjin Yi, Byung-Ju Yang, Hai Won . Bridge Inspection Robot Development Interface (BIRDI), Department of Electronic, Electrical, Control and Instrumentation Engineering, Hanyang University. Mechatronics and Automation, 2007. ICMA 2007. International Conference on. Aug. 2007. 3634 - 3639.
33. Advanced Ground-Penetrating, Imaging Radar for Bridge Inspection. John P. Warhus, Scott D. Nelson, and Jeffrey E. Mast, Defense Sciences Engineering Division. <http://www-eng-x.lnl.gov/documents/em/jwpctta93.html>
34. Road condition rating based on factor analysis of road condition measurements. Antti Ruotoistenmäki, and Tomi Seppälä. Destia, Helsinki School of Economics. Transport Policy. Volume 14, Issue 5, September 2007. 410-420.
35. Automatic license plate recognition. Shyang-Lih Chang Li-Shien Chen Yun-Chung Chung Sei-Wan Chen Dept. of Inf. & Comput. Educ., Nat. Taiwan Normal Univ., Taipei, Taiwan. Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on. March 2004. Volume: 5, Issue: 1. 42 - 53 .
36. Statistical tracking in video traffic surveillance. Boyd, J.E.; Meloche, J.; Vardi, Y.. Computer Vision, 1999. The Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on. Volume 1, 20-27 Sept. 1999. 163 - 168
37. Päälystettyjen teiden vaurioiden mittaaminen ja analysointi www.ramboll.fi/services/infrastructure%20and%20transport/operation%20and%20maintenance/~media/Files/RFI/product%20brochures/T_eiden_mittaaminen_ja_analysointi.ashx
38. Konenäkösovellus tien päällä www.promaint.net/downloader.asp?id=3019&type=1
39. www.greenwood.dk
40. www.csiro.au/solutions/psaa.html#1
41. 100 Gen Oy, Juha Äijö: Päälystettyjen teiden vauriomittauksen kehittäminen. Helsinki 2004. Tiehallinto, palvelujen suunnittelu. Tiehallinnon selvityksiä 52/2004. 63 s. ISSN 1457-9871, ISBN 951-803-374-9, TIEH 3200902.
42. Päälystettyjen teiden vauriomittauksen kehittäminen. Automaattinen päälystevaurioiden mittaaminen. Tiehallinnon selvityksiä 52/2004. Tiehallinto, Helsinki. 2004.
43. Äijö, Juha: Automated Crack Measurement Test in Finland 2004. [Automaattisten vauriomittareiden testi Suomessa 2004] Helsinki 2005. Tiehallinto. 62 s. + liitt. 14 s. Finnra reports 5/2005, ISSN 1459-1553, ISBN 951-803-443-5, TIEH 3200917E-v
44. Automaattinen päälystevaurioiden mittaaminen (APVM) - Vauriotiedon käyttö päälystetyn tiestön ylläpidossa: . Helsinki 2007. Tiehallinto, Asiantuntijapalvelut. Tiehallinnon selvityksiä 13/2007, 40 s. + liitt. 11 s. ISSN 1459-1553, ISBN 978-951-803-843-9, TIEH 3201039-v.

45. Automaattinen vauriomittaus kevyen liikenteen väylillä. Helsinki 2007.
Tiehallinto, asiantuntijapalvelut.
Tiehallinnon selvityksiä 20/2007. 23 s. ISSN 1459-1553, ISBN 978-951-803-862-0, TIEH 3201046-v.
46. Käsikirja tien pinnan kunnon mittaamisesta. Helsinki 2007.
Tiehallinto, asiantuntijapalvelut.
Tiehallinnon selvityksiä 21/2007, 55 s. ISSN 1457-9871, ISBN 978-951-803-863-7, TIEH 3201047.
47. Päälystettyjen teiden vauriomittauksen kehittäminen. Helsinki 2007.
Tiehallinto, asiantuntijapalvelut.
Tiehallinnon selvityksiä 22/2007. 63 s. + liitt. 4 s. ISSN 1459-1553, ISBN 978-951-803-865-1, TIEH 3201048-v.
48. Automaattinen vauriomittaus molempiin ajosuuntiin: käyttötapaukset ja suositukset.
Helsinki 2007. Tiehallinto, asiantuntijapalvelut. Tiehallinnon selvityksiä 27/2007. 25 s. + liitt. 7 s. ISSN 1459-1553, ISBN 978-951-803-887-3, TIEH 3201053-v.
49. Offrell Petra., Sjögren Leif., Magnusson Rolf.; Repeatability in Crack Data Collection on Flexible Pavements - A Comparison between Surveys using Video Cameras, Laser Cameras and a Simplified Manual Survey. Journal of Transportation Engineering., Volume 131, Issue 7, pp. 552-562. July 2005
50. Offrell Petra, Sjögren Leif: Crack measures and reference systems for a harmonised crack data collection using automatic system. 2nd European Pavement and Asset Management Conference. 21st – 23rd March 2004, Berlin, Germany
51. S McRobbie and A Wright: TTS Research- Crack detection on local roads – Phase 1, TRL Limited, September 2005
52. G Furness, S Barnes and A Wright: Crack detection on local roads – Phase 2, TRL Limited, March 2007
53. DI Juho Meriläinen, Automaattinen päälystevaurioiden mittausrakka (APVM) 2006–2007
Tiennäyttäjä 2/2006, Tiehallinto
54. www.roadware.com/applications/
55. www.roadware.com/lib/pdf/datasheet.wisecrux.pdf
56. www.waylink.com/
57. www.roadconsulting.fi/tuotteet.html
58. Kari Kotilainen: Tiemerkintöjen kuntomittaus kehittyi, Tiennäyttäjä 4 Syyskuu 2005, s. 20 – 21
59. Kari Kotilainen: Tiku- Tiemerkintöjen kuntomittaus, Tiemerkintäpäivät 5-6.11.2008
www.yllapitoklusteri.fi/cms/eventfiles/download/166
60. Tiemerkintöjen laatuvaatimukset, Toteuttamisvaiheen ohjaus 1/2008, Tiehallinto
alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2200014-v-08tiemerkintojen_laatuvaatimukset.pdf
61. Tiemerkintöjen kuntoluokitus .Toteuttamisvaiheen ohjaus 2004
alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2200022-v-04tiemerkint_kuntoluok.pdf
62. Osmo Anttila: Mittauslaitteet ja niiden hyväksymismenettely, Tiemerkintäpäivät 13-14.11. 2007, Vaasa

63. www.yllapitoklusteri.fi/cms/eventfiles/download/88
64. www.roadvista.com/products/laserluxcen30.shtml
65. www.vectra.fr/suite.php?page=suivante&newsid=104
66. License Plate Recognition - A Tutorial
www.licenseplaterecognition.com/
67. www.arhungary.hu/
68. www.platerecognition.info/1102.htm
69. www.visy.fi/showPage.do?page=companyPage
70. www.fot-net.eu/download/seminars/seminar_presentations/seminar_2_assisted_driver.pdf
71. Opelin Insignia tunnistaa rajoitukset automaattisesti liikennemerkeistä
www.duuniauto.fi/artikkelit/article114001.ece
72. <http://carscoop.blogspot.com/2008/06/opel-insignia-gets-camera-system-that.html>
73. www.blaupunkt.com/fi/7612201660_main.asp
74. www.mobileye.com/default.asp?PagelD=0
75. www.mobileye.com/default.asp?PagelD=328
76. www.smarteye.se/default.aspx
77. www.smarteye.se/resources/1/PDF/smarteye_broschyr.pdf
78. www.zercustoms.com/news/Volkswagen-Park-Assist-Vision.html
79. www.auto-power-girl.com/cars-2009/volkswagen-specifications/volkswagen_passat_cc-2378
80. <http://carscoop.blogspot.com/2008/06/opel-insignia-gets-camera-system-that.html>
81. www.vtt.fi/liitetiedostot/uutta/Sihvola_esitys08102008-2.pdf
82. www.hel2.fi/liikenteenohjaus/keskusohjaus/liikennekamerat.asp
83. www.liikenneny.fi/web/guest/home
84. www.oulunliikenne.fi/
85. www.ars.nl/index_uk.html
86. Valmisteilla oleva matka-aikavalvontakokeilu
Tiehallinnon liikenneturvallisuuspäivät 19-20.11.2008
www.tiehallinto.fi/pls/wwwedit/docs/21204.PDF
87. Liikenteen automaattinen kameravalvonta. Esiselvitys. FITS-julkaisuja 5/2002
www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2002/Fits_5_Liikenteen_automattinen_kameravalvonta.pdf
88. Ari Kähkönen, Satu Innamaa, Matka-aikatiedon hankinta - Esiselvitys. Tiehallinnon sisäisiä selvityksiä 2/2006 (pdf 1187k)
89. Matka-aikatiedon hankinta, Esiselvitys, Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 2/2006
www.aino.info/seminarit/kevat06/AINO_kevat06_Prokkola.pdf
90. DigiTraffic Esiselvitys, FITS-julkaisuja 30/2004
www.tkk.fi/Units/Transportation/ITS/Source/Reports/Raportti_FITS3_DigiTrafficEsiselvitys_2004.pdf
91. Navigaattorihuijarit kuriin keskinopeusvalvonnalla
www.tekniikkatalous.fi/rakennus/article42408.ece
92. www.autotoday.fi/page.php?page_id=51
93. www.digipaper.fi/akt/23993/index.php?pgnumb=16
94. Kameravalvonnalla ja opastuksella E18-tien jäteongelmat kuriin
www.sito.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=186&Itemid=2

95. www.m-motion.fi/Kameravalvontaesite.pdf
96. www.siemens.fi/portal.nsf/1/51E752E2D6A50D4BC22570FF00407336
97. Liikennemerkkit elävät kelin mukaan Turun moottoritieellä
<http://m.digitoday.fi/?page=showSingleNews&newsID=200711453>
98. Telematiikka vahtii E18-tien häiriöitä
www.rakennuslehti.fi/uutiset/lehtiarkisto/9290.html
99. http://e18.pp-viestinta.fi/tiedostot/E18_tyomaaraportti_9_0408.pdf
100. Automaattivalvonnan tekniset ratkaisut Selvitys soveltamismahdollisuuksista Suomessa. FITS-julkaisuja 9/2002
101. Kosonen, I., Kulmala, R., Hautala, R. 2004. DigiTraffic - Liikenteen mallinnus- ja palvelujärjestelmä, esiselvitys. FITS-julkaisuja 30/2004. Helsinki. Liikenne- ja viestintäministeriö. 109 s. ISBN 951-723-891-6.
102. Iteris' Roadway Sensors
www.iteris.com/upload/datasheets/Vantage_FINAL_web.pdf
103. <http://teto.tampere.fi/valot/toiminta.htm>
104. www.hel2.fi/liikenteenohjaus/index.asp
105. www.swarco.fi/
106. http://www.swarco.fi/download2.asp?file=doc_3_580.PDF&id=580&type=d
107. www.autoscope.com/products/dl/Autoscope_brochure.pdf
108. www.visioway.com/index.php?lang=fi
109. www.trafficcontrolsystems.co.nz/
110. www.itssiemens.com/en/Downloads/pdfs/EagleVision%20Brochure%20Combined.pdf
111. www.roadtraffic-technology.com/contractors/tolling/jai/
112. www.terrasolid.fi/fi
113. www.roadex.org/index.htm
114. www.procontour.com/index.php?id=1&L=1
115. www.amsterdam.intertraffic.com/intertraffic2008/e
116. www.vitronic.de/en/verkehr/
117. www.roadscanners.com/index_fin.html
118. Ilmakuvaus
<http://personal.inet.fi/taide/ilkka.karttunen/index.htm>
119. www.kaleva.fi/plus/index.cfm?j=669697
120. www.noptel.fi/eng/index.html
121. http://en.wikipedia.org/wiki/Google_Street_View
122. <http://mashable.com/2007/05/31/top-15-google-street-view-sightings/>
123. Varusteiden ja laitteiden hallinta. Inventoitavat varusteet ja laitteet, niiden ominaisuuksiedot ja kuntoluokitus. Tiehallinnon selvityksiä 33/2004 (pdf 855k)
124. Sillantarkastuskäsikirja
www.tiehallinto.fi/pls/wwwedit/docs/3515.PDF
125. www.roadex.org/Publications/docs-RIII-EN/Drainage%20Guidelines%20-%20RIII.pdf
126. Keijo Pulkkinen, Seppo Ropponen: Konenäköä avuksi teiden hoitoon ja ylläpitoon. Tiennäyttäjä 3, Kesäkuu 2008, s.12 - 13
127. Seppo Ropponen: Konenäön hyödyntämismahdollisuudet teiden ylläpidossa ja hoidossa.
www.infra2010.fi/Aineisto/seminaari_5_11_2008/Ropponen.pdf

ISSN 1459-1553
ISBN 978 - 952 - 221 - 109 - 5
TIEH 3201105 -v